



**AĞIZ GİRİŞ ŞEKLİNİN SU ALMA AĞIZLARININ MEMBASINDAKİ HIZ
DAĞILIMINA ETKİSİ**

Gültaze YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gültaze YILDIRIM

25/06/2021

AĞIZ GİRİŞ ŞEKLİNİN SU ALMA AĞIZLARININ MEMBASINDAKİ HIZ DAĞILIMINA ETKİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gültaze YILDIRIM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2021

ÖZET

Rezervuar ve denizler gibi durgun su ortamlarından veya nehirler ve kanallar gibi akım ortamlarından su almak için kullanılan yapılara su alma yapıları denilmektedir. Küçük ölçekli su alma yapıları genellikle dairesel en kesite sahip boru tipindedir. Su alma yapılarının tasarımında dikkate alınması gereken iki önemli konu vardır. Bunlar, su alma ağzlarının üzerinde su yüzeyinde meydana gelen hava çekirdekli çevrintiler yoluyla ağza hava girişi ve ağzlara taban veya askıdaki sedimentin sürüklenmesidir. Her iki olay da su alma yapılarının verimli çalışmasını engellemektedir. Bu olguları araştırmak için su alma yapılarının yakınlarındaki hız dağılımlarını bilmek gerekir. Bu çalışmada, ağız geometrisinin ölü-son duvarına sahip bir kanaldan su alan ağzların membasındaki hız dağılımları üzerindeki etkisi hem teorik hem de sayısal olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Teorik analizde, su alma yapılarının yakınlarındaki hız dağılımını bulmak için önceki çalışmalarda da kullanılan potansiyel akım çözümü kullanılmıştır. Sayısal araştırma için, hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeli önce dairesel kesitli su alma ağzına ait mevcut deneysel verilerle kalibre edilmiş ve daha sonra gerek akım sınırlarının etkisi olmadığı gerekse kanal tabanı ve yan duvarı etkilerinin olduğu durumlara ait analizler farklı ağız geometrileri (enin yüksekliğe oranı 4, 2, 1/4, 1/2 olan dikdörtgenler, kare, 45° döndürülmüş kare, eşkenar üçgen, 180° döndürülmüş eşkenar üçgen, eşkenar dörtgen ile 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen) için gerçekleştirilmiştir. Teorik ve sayısal sonuçlar, ağız geometrisinin ağzların çevresindeki hız dağılımı üzerindeki etkisinin büyük olduğunu, ancak ağızdan olan mesafe arttıkça bu etkinin ortadan kalktığını göstermiştir. Büyük en/yükseklik oranlarına sahip dikdörtgensel ağzlar için, eş-hız eğrileri dairesel ağzın sonuçlarından farklı hale gelirken, kare, eşkenar dörtgen ve üçgen ağzların davranışları dairesel ağza benzemiştir. Ayrıca, akım sınırı etkilerinin eş-hız eğrilerinin şeklini bozduğu ve sınır etkisi olmayan duruma kıyasla sınırlardan uzak bölgede daha büyük hızlar oluşturduğu da gösterilmiştir. Ayrıca, sayısal ve teorik sonuçlar arasındaki uyum tatmin edici bulunmuştur.

Bilim Kodu : 91101

Anahtar Kelimeler : Akım sınırları, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, hız, potansiyel akım, su alma ağzı

Sayfa Adedi : 131

Danışman : Doç. Dr. Kerem TAŞTAN

EFFECT OF INTAKE GEOMETRY ON THE VELOCITY DISTRIBUTION
UPSTREAM OF INTAKES

(M. Sc. Thesis)

Gültaze YILDIRIM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2021

ABSTRACT

Structures used to receive water from stagnant water environments such as reservoirs and seas, or the flow environments such as rivers and canals are called intake structures. Small-scale intake structures are generally pipes having a circular cross-section. There are two important issues to be considered in the design of intake structures. These are air entrainment to the intake through free surface air-core vortices occurring above the intakes, and entrainment of bed or suspended sediment to intakes. Both events prevent the efficient operation of the intake structures. To investigate these phenomena, it is necessary to know the velocity distributions near the intake structures. In this study, the effect of intake geometry on the velocity distributions upstream of intakes receiving water from a dead-end channel was compared both theoretically and numerically. In theoretical analysis, the available potential flow solution was used to find the velocity distribution in the vicinity of the intake structures. For numerical investigation, the computational fluid dynamics model was first calibrated with available experimental data related to circular cross-section pipe intake, and then the analyses of various intake types (rectangles with a width to height ratio of 4, 2, 1/4, 1/2, square, 45° rotated square, equilateral triangle, 180° rotated equilateral triangle, rhombus and 90° rotated rhombus) were performed with and without flow boundary effects due to channel bottom and sidewalls. Theoretical and CFD results showed that the effect of the intake geometry on the velocity distribution in the vicinity of the intakes is large, but this effect disappears as the distance from the intake increases. For rectangular intakes with high width/height ratios, iso-velocity contours became different than that of the pipe intake while the behaviors of the square, rhombus, and triangular intakes were similar to the pipe intake. It was also shown that the flow boundary effects spoil the shape of the iso-velocity contours and generate larger velocities in the region away from the boundaries compared to the case with no boundary effects. Moreover, the agreement between numerical and theoretical results was found to be satisfactory.

Science Code : 91101

Key Words : Flow boundaries, computational fluid dynamics, velocity, potential flow, intake

Page Number : 131

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Kerem TAŞTAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Kerem TAŞTAN'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmamda bana yardımda bulunan Arş. Gör. Efe BARBAROS'a da teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca kıymetli zamanlarını bu çalışma için ayırıp çok değerli yorumları ve katkılarının yanı sıra olumlu ve yapıcı eleştirileri ile tecrübe ve bilgi birikimlerini benimle paylaşan tez jüri üyeleri Prof. Dr. Osman ÖZDEMİR ve Prof. Dr. Mete KÖKEN hocalarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak çalışmamda desteklerini ve bana olan güvenlerini benden esirgemeyen beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Çalışmanın Yöntemi ve Kapsamı.....	7
3. TEORİK ÇALIŞMA – POTANSİYEL AKIM ÇÖZÜMÜ.....	9
3.1. Potansiyel Akım	9
3.2. Akım Fonksiyonu	10
3.3. Noktasal Kuyu için Hız Potansiyel ve Akım Fonksiyonları.....	11
3.4. Farklı Enkesit Şekillerine Sahip Su Alma Ağzılarının Membasındaki Hız Dağılımlarının Potansiyel Akım Çözümü ile Elde Edilmesi.....	13
3.4.1. Dairesel ağız için potansiyel akım çözümü.....	13
3.4.2. Farklı ağız giriş geometrileri için ağzıların membasındaki hız bileşenleri için potansiyel akım çözümleri	17
3.5. Akım Engel Etkileri.....	33
3.5.1. Sadece kanal tabanının engel etkisi	33
3.5.2. Sadece su yüzeyinin engel etkisi.....	34
3.5.3. Sadece kanal yan duvarının engel etkisi.....	35
3.5.4. Hem kanal tabanının hem su yüzeyinin engel etkisi.....	36

Sayfa

4. NÜMERİK ÇALIŞMA.....	39
4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD Yazılımı) ile Analiz ve İnceleme	39
4.1.1. Kullanılan HAD yazılımı (FLOW-3D) ile ilgili genel bilgiler	40
4.1.2. HAD yazılımının (FLOW-3D) çözdüğü temel denklemler	41
4.1.3. FLOW3D’de model kurulumu için işlem adımları.....	42
4.2. Fiziksel Model Çalışması.....	46
4.2.1. Geometrik model kurulumu	50
4.2.2. Çözüm ağı ve en uygun seçimi	52
4.2.3. Başlangıç koşulu ve sınır koşulları	55
4.2.4. Türbülans modeli ve en uygun seçimi	57
4.2.5. Daire kesiti ile yapılan deneylerin sayısal çözümlerle kıyaslanması.....	60
4.2.6. Engel etkisiz durum için daire kesitine sahip su alma ağzına ait Flow3D görüntüleri	62
4.3. Daire Kesiti ile Birlikte Farklı Ağız Kesitlerine ait Geometrilere Yapılan Sayısal Çözümler.....	64
4.4. Sınır Etkileri Durumuna ait Sayısal Modeller	66
4.4.1. Yan duvar etkisi durumuna ait sayısal modeller	66
4.4.2. Taban etkisi durumuna ait sayısal modeller	70
5. TEORİK VE SAYISAL SONUÇLARIN YORUMLANMASI.....	77
5.1. Sınır Etkisi Olmayan Durumların Analizi	77
5.2. Sınır Etkisi Olan Durumların Analizi	90
6. SONUÇLAR	103
KAYNAKLAR	105

Sayfa

EKLER.....	107
EK-1.Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için farklı ağız şekillerinin hız potansiyel fonksiyonları	108
EK-2. Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar.....	111
EK-3. Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları	120
ÖZGEÇMİŞ	131

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Sınır koşulları.....	56
Çizelge 5.1. x-z düzlemindeki yarı-eliptik eş-hız eğrilerinin uzun ve kısa eksenlerinin boyutsuz uzunlukları.....	81
Çizelge 5.2. x-y düzlemindeki yarı-eliptik eş-hız eğrilerinin uzun ve kısa eksenlerinin boyutsuz uzunlukları.....	89
Çizelge 5.3. x-z düzleminde belirli noktalardaki boyutsuz hız değerleri	98
Çizelge 5.4. x-y düzleminde belirli noktalardaki boyutsuz hız değerleri	100

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. 2-Boyutlu ve 3-Boyutlu akım alanında hız potansiyel fonksiyonunun hız bileşenlerinin kartezyen ve polar koordinatlarda gösterimi (Munson, Young, Okiishi and Huebsch (2009): 272, 286)	10
Şekil 3.2. 2-Boyutlu akım alanında akım çizgisi fonksiyonunun hız bileşenlerinin kartezyen ve polar koordinatlarda gösterimi (Munson, Young, Okiishi and Huebsch (2009): 273, 274).....	11
Şekil 3.3. Noktasal kuyu için hız vektörleri, akım ve hız potansiyel fonksiyonları	12
Şekil 3.4. Dairesel ağız için koordinat sisteminde yan görünüş ve karşıdan görünüş	14
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan su alma ağızı giriş kesitleri	17
Şekil 3.6. Dikdörtgen ağza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş	18
Şekil 3.7. Eşkenar üçgen ağza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş.....	20
Şekil 3.8. 180° döndürülmüş eşkenar üçgen ağza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş	22
Şekil 3.9. 45° döndürülmüş kare ağza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş	24
Şekil 3.10. Eşkenar dörtgen ağza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş	27
Şekil 3.11. 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen ağza ait yan ve karşıdan görünüş	30
Şekil 3.12. Sadece kanal taban engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları.....	34
Şekil 3.13. Sadece su yüzeyi engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları.....	35
Şekil 3.14. Sadece kanal yan duvarı engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları	36
Şekil 3.15. Hem kanal tabanı hem su yüzeyi engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları	37
Şekil 4.1. Dikdörtgen bir kanaldan su alan dairesel bir su alma ağızı; a) Geometrilere, b) Çözüm ağı, c) Başlangıç koşulu, d) Sınır koşulları.....	47
Şekil 4.2. Dikdörtgen bir kanaldan su alan su alma ağızı durumunda zamanla serbest su yüzey alanındaki değişim.....	48
Şekil 4.3. Dikdörtgen bir kanaldan su alan su alma ağızının ve çalkantı önleyici katının görünümü	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Dikdörtgen bir kanaldan su alan dairesel bir su alma ağzı akımı için çalkantı önleyici katı eklendikten sonraki zamanla su yüzey alanındaki değişim	49
Şekil 4.5. Dikdörtgen bir kanaldan su alan su alma ağzı; a) Kullanılan çözüm ağları, b) Model boyutları.....	49
Şekil 4.6. Fiziksel model: a) 3 boyutlu görünüş b) Yan görünüş c) Üst görünüş.....	51
Şekil 4.7. Temel fiziksel model bileşenleri.....	51
Şekil 4.8. FLOW-3D fiziksel modeli ve FAVOR görünümü	52
Şekil 4.9. Dairesel ağız için eksenel hızın farklı çözüm ağı aralıklarında karşılaştırılması	54
Şekil 4.10. Dairesel ağız için x-z düzlemindeki eş hız eğrilerinin farklı çözüm ağı aralıklarında karşılaştırılması	54
Şekil 4.11. Modelde kullanılan sınır koşullarının 3 Boyutlu görünümü.....	56
Şekil 4.12. Dairesel ağza ait LES ve k- ϵ türbülans modeli eksenel hız sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması	59
Şekil 4.13. Dairesel ağza ait LES ve k- ϵ türbülans modeli x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması	59
Şekil 4.14. Dairesel ağza ait LES ve k-E türbülans modeli sayısal sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırılması: a) Eksenel hız b) x-z düzleminde ($y=0$) eş hız eğrileri	60
Şekil 4.15. Dairesel ağza ait mevcut deney verileriyle HAD modeli eksenel hız analiz sonuçlarının kıyaslanması	61
Şekil 4.16. Dairesel ağza ait mevcut deney verileriyle HAD modeli x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri analiz sonuçlarının kıyaslanması	61
Şekil 4.17. x-y düzlemindeki ($z=0$) plan görünümünde eş hız eğrileri, akım alanı vektörleri ve renklendirilmiş hız büyüklükleri	62
Şekil 4.18. x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri ve akım alanı vektörleri: a) Bileşke eş hız eğrileri, b) Sadece x yönündeki V_x hızının eş hız eğrileri, c) Sadece z yönündeki V_z hızının eş hız eğrileri.....	63
Şekil 4.19. Akım çizgisi: a) x-y düzlemindeki ($z=0$), b) x-z düzlemindeki ($y=0$)	64
Şekil 4.20. Modelde kullanılan farklı su alma ağzı giriş kesitleri	65

Şekil	Sayfa
Şekil 4.21. Yan duvar etkisi olan su alma ağzı model geometrilerinin görünüşleri; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi	66
Şekil 4.22. Yan duvar etkisi olan modelde kullanılan sınır koşullarının görünüşü; a) 3D, b) x-z düzlemi yan duvar sınır etkisi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi	67
Şekil 4.23. Yan duvar etkisi olan modelin çözüm ağı bloğu ile birlikte görünüşü; a) 3 Boyutlu, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi	67
Şekil 4.24. Yan duvar etkisi olan modelin FAVOR ile görünüşü; a) 3 Boyutlu, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi	68
Şekil 4.25. Yan duvar etkisindeki x-y düzlemindeki ($z=0$) plan görünümünde eş hız eğrileri ve hız vektörleri: Renklendirilmiş hız büyüklükleri ve ağzın yakınlaştırılmış hali	68
Şekil 4.26. Yan duvar etkisi altında x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri ve hız vektörleri: a) Eş hız eğrileri, b) Sadece x yönündeki V_x hızına ait eş hız eğrileri, c) Sadece z yönündeki V_z hızına ait eş hız eğrileri.....	69
Şekil 4.27. Yan duvar etkisi altında akım çizgileri: a) x-y düzlemi ($z=0$), b) x-z düzlemi ($y=0$)	70
Şekil 4.28. Taban sınır etkisi olan su alma ağzı model geometrilerinin görünüşleri; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi	70
Şekil 4.29. Taban sınır etkisi olan modelde kullanılan sınır koşullarının görünüşü; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi taban sınır etkisi, d) y-z düzlemi.....	71
Şekil 4.30. Taban sınır etkisi olan modelin çözüm ağı bloğu ile birlikte görünüşü; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi	71
Şekil 4.31. Taban sınır etkisi olan modelin FAVOR ile görünüşü; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi.....	72
Şekil 4.32. Taban sınır etkisinde x-y düzlemindeki ($z=0$) plan görünümünde eş hız eğrileri ve hız vektörleri: Renklendirilmiş hız büyüklükleri ve ağzın yakınlaştırılmış hali	72
Şekil 4.33. Taban sınır etkisinde x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri ve hız vektörleri: a) Eş hız eğrileri, b) Sadece x yönündeki V_x hızına ait eş hız eğrileri, c) Sadece z yönündeki V_z hızına ait eş hız eğrileri.....	73
Şekil 4.34. Taban sınır olması durumunda akım çizgileri a) x-y düzleminde, b) x-z düzleminde	74

Şekil	Sayfa
Şekil 4.35. Dairesel ağza ait LES türbülans modeli, viskoz olmayan akım modeli ve teorik sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırılması: a) Eksenel hız b) x-z düzleminde ($y=0$) eş hız eğrileri.....	75
Şekil 5.1 Çeşitli ağızlar için eksenel hızın kanal ekseni boyunca değişimi.....	78
Şekil 5.2 x-z düzleminde sınır etkisi olmayan durumlarda çeşitli ağız geometrileri için bileşke hızın karşılaştırılması.....	80
Şekil 5.3. x-z düzleminde yatay hız dağılımları	82
Şekil 5.4. x-z düzleminde düşey hız dağılımları.....	85
Şekil 5.5. x-y düzleminde sınır etkisi olmayan çeşitli ağız geometrileri için bileşke hızın karşılaştırılması.....	87
Şekil 5.6. x-y düzlemindeki çeşitli ağız geometrileri için yan duvar etkisi durumunda eş hız eğrileri.....	90
Şekil 5.7. x-y düzleminde çeşitli ağız geometrileri için kanal taban etkisi durumunda eş hız eğrileri.....	92
Şekil 5.8. x-z düzleminde çeşitli giriş geometrileri için kanal taban etkisi durumunda eş hız eğrileri.....	94
Şekil 5.9. x-z düzlemindeki çeşitli ağız geometrileri yan duvar etkisi durumunda eş hız eğrileri.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Su alma ağzının kesit alanı
A_x, A_y, A_z	x, y, z yönlerindeki akışkana ait alan oranları
a	Üçgen, dörtgen ağız kesitinin bir kenarının uzunluğu
b	Dikdörtgen ağız enkesitinin yatay uzunluğu
c	Su alma ağzının kanal tabanına mesafesi
d	Dairesel ağzın çapı
e_r	r yönündeki birim vektör
e_θ	θ yönündeki birim vektör
e_z	z yönündeki birim vektör
F	Hesaplama hücresindeki sıvının hakim oranı
f_x, f_y, f_z	x, y, z yönlerindeki viskoz ivme
G_x, G_y, G_z	x, y, z yönlerindeki kütle ivme
h	Dikdörtgen ağız enkesitinin düşey uzunluğu
H	Su alma ağzının su yüzeyine mesafesi
lt	Litre
m	Kuyunun gücü
p	Basınç
P	Akış alanındaki herhangi bir nokta
P_0	Ağızdaki diferansiyel bir noktasal kuyunun konumu
Q	Debi
r	Radyal mesafe
r_0	Ağız merkezi ile P_0 arasındaki mesafe
R_{SOR}	Kaynak terimi
t	Zaman
V	Bileşke hız vektörü
V_c	Eksenel hız
V_0	Kesit ortalama hızı

Simgeler	Açıklamalar
V_r	İncelenen düzlemdeki bileşke hız
V_θ	θ yönündeki hız bileşeni
V_x, V_y, V_z	x, y, z yönlerindeki hız bileşeni
V_F	Akışkan hacmi ile alakalı terim
w	Su alma ağzının kanal yan duvarına mesafesi
ϕ	Hız potansiyel fonksiyonu
ψ	Akım fonksiyonu
ρ	Akışkanın yoğunluğu
θ	x eksenini ile r arasında saat yönünün tersindeki açı
θ_0	z eksenini-ağız merkezi ve P_0 noktası arasındaki açı

Kısaltmalar	Açıklamalar
1D	Bir boyutlu
2D	İki boyutlu
3D	Üç boyutlu
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
CFD	Computational fluid dynamics
FAVOR	Fractional area/volume obstacle representation
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
LES	Large eddy simulation
RNG	Renormalized group
VOF	Volume of fluid

1. GİRİŞ

Enerji üretimi, sulama ve içme suyu temini gibi alanlarda kullanılmak üzere durgun su veya akım ortamlarından su almak için çeşitli tiplerde su alma ağızları yapılır. Su alma yapıları tasarlanırken, istenen su miktarının yanı sıra, hem miktar hem de boyut olarak izin verilen sınırların üzerinde sediment olmaması sağlanmalıdır. Taban veya askıdaki sediment, izin verilen sınırları aşan bir miktar ve boyutta ağza girerse, ağzın verimi azalır ve çökeltim havuzlarının işletilmesi çok maliyetli hale gelebilir. Serbest yüzey çevrintileri vasıtasıyla hava girişi de istenmeyen bir durumdur çünkü ağzın debisinde azalmaya ve su iletim hattındaki elemanlarda kavitasyona veya titreşimlere neden olur. Su alma ağızlarına hava ve sediment girişi ile ilgili en etkili parametrelerden biri, ağızların yakınlarındaki hız dağılımıdır. Bu hız dağılımının bulanabilmesi için deneysel, sayısal ve teorik yaklaşımlar mevcuttur. Mevcut literatürdeki teorik çözümlerde, potansiyel akım yaklaşımı, orifislerin veya ağızların membasındaki akım hızını bulmak için sıklıkla kullanılmıştır. Sayısal çözümlerde, özellikle daire kesitli ağızlar için 3 boyutlu Navier-Stokes denklemlerinin HAD yazılımları kullanılarak çözüldüğü görülmektedir. Deneysel çalışmalar da, daha çok dairesel ağızlara ait laboratuvar deneyleri içermektedir. Tüm hidrolik problemlerinde olduğu gibi su alma ağızlarının membasındaki hız dağılımını bulmak için izlenebilecek her üç çözüm yolunun da birbirlerine göre olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır.

Pratik uygulamalarda, boru ağızları dışında farklı ağız şekilleri de kullanılabilir. Bu çalışmada, ağız geometrisinin ölü-sonlu bir kanaldan su alan ağızların membasındaki hız dağılımları üzerindeki etkileri hem teorik hem de sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Akım sınır etkileri (kanal tabanı veya kanal yan duvarları) olan ve olmayan durumlar için literatürdeki mevcut potansiyel akım yaklaşımın geçerliliği, çeşitli ağız şekilleri dikkate alınarak test edilmiştir. Mevcut çalışmalarda, genellikle daire kesitli su alma ağızları incelenmiş; boru tipi ağızlar dışındaki farklı ağız geometrileri için (örneğin dikdörtgen, kare, üçgen, dörtgen) ağızların membasında oluşacak hız dağılımları elde edilmemiş, dairesel kesitle kıyaslanmamış ve üzerindeki akım sınırı etkileri ayrıntılı olarak çalışılmamıştır. Bu çalışmada, kıyaslamalar yapılırken kanal tabanın ve yan duvarın engel etkilerinin farklı ağız geometrileri (enin yüksekliğe oranı 4, 2, 1/4, 1/2 olan dikdörtgenler, kare, 45° döndürülmüş kare, eşkenar üçgen, 180° döndürülmüş eşkenar üçgen, eşkenar dörtgen ile 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen) için bir fark oluşturup oluşturmadığı da

araştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen teorik ve mevcut deneysel sonuçların karşılaştırılması için Flow3D yazılımı kullanılarak sayısal simülasyonlar da yapılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Ağız akımları ile barajlarda ve nehirler üzerine inşa edilen su alma yapılarında sıklıkla karşılaşmaktadır. Bu yapılarda ağızların membasındaki akım hızını tahmin etmek; rezervuarlarda ve havuzlarda sediment yıkaması sırasında bu yapıların membasındaki sediment hareketini, yüzeye yakın ağızların olması durumunda oluşabilecek çevrintiden dolayı hava girişini, balık saptırma ve pompalama işlemleri gibi birçok farklı olayı etkilediğinden oldukça önemlidir. Ağızların membasındaki hız dağılımının anlaşılması, yüzeyin, yan duvarın veya tabanın yakın olduğu küçük dinlendirme havuzlarındaki bir ağzın konumunun tespit edilmesinde yardımcı olabilir.

Literatürde, su alma ağızlarının yakınındaki hız dağılımını inceleyen birçok deneysel, sayısal ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Shammaa, Zhu ve Rajaratnam (2005); potansiyel akım çözümünde ölü-son duvarı üzerindeki bir orifisin merkezine yerleştirilmiş tek bir noktasal kuyu yaklaşımının, orifisin yakınlarında hız dağılımını doğru tahmin edemediğini göstermişlerdir. Orifis şeklini hesaba katarak, orifise yakın bölgede gerçekçi olmayan hız değerlerinden kaçınmak için, orifis alanı boyunca eşit olarak dağıtılmış noktasal kuyuları kullanarak tek bir noktasal kuyu için var olan potansiyel akım çözümünü geliştirmişlerdir. Orifise yakın alanda yarı-eliptik eş-hız eğrileri, orifisten uzak alanda ise yarı-küresel eş-hız eğrileri oluştuğunu bulmuşlardır. Ağızın merkezinden belirli bir mesafeden sonra orifisin şeklinin ve boyutunun hız dağılımı üzerinde hiçbir etkisi olmadığını göstermişlerdir. Ayrıca dairesel orifisin membasındaki hız dağılımını dikdörtgen olanla karşılaştırmış, ancak bu analizi akım sınırlarından kaynaklanan etkilerin olmadığı bir akım ortamında yapmışlardır (su yüzeyi, kanal tabanı veya kanal yan duvarlarının etkileri olmadan).

Bryant, Khan ve Aziz (2008); potansiyel akım yaklaşımını kullanarak yüzey veya taban sınır etkisi olmadan küçük boyutlu orifis, yüzey ve taban sınırlardan uzak büyük orifis, yüzeye yakın küçük orifis ve birbirine yakın iki küçük orifis olmak üzere dört farklı durumu incelemişlerdir. Tek noktasal kuyu yaklaşımının, orifis çevresindeki hız dağılımını tahmin edemediğini göstermişlerdir. Orifislerin membasındaki hız dağılımını, orifis yüzey alanına eşit kuvvetlerde dağıtılmış noktasal kuyular kullanarak ve aynı zamanda hız

bileşenlerini ve basınç gradyanlarının etkisini de dikkate alarak Shammaa ve diğerleri (2005) yöntemini daha da geliştirmişlerdir. Orifis için mevcut potansiyel akım çözümü ve basınç düzeltmeli yeni çözümü, deneysel verileri kullanarak doğrulamışlardır. Basınç düzeltmeli çözüm, büyük orifisin membasındaki akım dağılımını doğru tahmin etmiştir.

Yıldırım ve Taştan (2009) ve Yıldırım, Eroğlu ve Taştan (2012); potansiyel akım yaklaşımını ağızlardaki hava girişli çevrinti olayını incelemek için kullanmışlardır. Dairesel ağız akımını modellemek için noktasal kuyu kabulünden yararlanmışlardır.

Islam ve Zhu (2011); kompleks analiz yöntemini kullanarak çeşitli boyutlar ve konumlara sahip 2-boyutlu dikdörtgen ağızların membasındaki hız dağılımını bulmuşlardır. Çalışmalarında, ikili dikdörtgen ağız durumunu incelemişlerdir. Çoklu ağızlar için süperpozisyon yapılabileceğini göstermişlerdir. Analitik sonuçların, deneylerden ve sayısal çözümlerden elde edilen sonuçlarla uyum içinde olduğunu görmüşlerdir. Akımın ağza yaklaştıkça hızlanmasından dolayı oluşan yüksek hızlı bölgenin belirlenmesi, ağızlara balık girişi durumu açısından önemlidir. Akım hızlanma bölgesinin su derinliğine, ağzın konumuna ve ağzın boyutlarına bağlı olduğunu göstermişlerdir. Bu araştırmacıların temel amaçları, çeşitli geometri ve akım koşulları altında akım hızlanma bölgesini değerlendirmek ve çoklu ağızların etkileşimini analiz etmektir.

Powell ve Khan (2015); hareketli ve hareketsiz taban koşulları için yatay orifislerin membasındaki akım alanını araştırmışlardır. Deneyleri üç farklı sabit su yüksekliği ve sediment boyutları altında gerçekleştirmişlerdir. Çalışmasının amacı, daha önce bildirilmemiş olan sabit taban ve denge oyulma koşulları altında bir orifisin membasındaki akım alanının sonuçlarını rapor etmektir. Yatay ve düşey düzlemde, orifisin membasındaki farklı konumlardaki eksenel hız profillerinin, hem sabit hem de hareketli taban durumları için benzer olduğunu bulmuşlardır. Sabit taban ve denge oyulma koşulları altında orifisin membasındaki akım davranışını sayısal olarak modellemişlerdir. Model, hem sabit hem de hareketli taban koşulları altında orifisin membasındaki hız alanını doğru bir şekilde öngörmüştür.

Chanson, Aoki ve Maruyama (2002); zamana bağlı orifis akımını araştırmak için büyük ölçekli bir deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında, kararsız akım koşulları altında düşey olarak deşarj olan büyük bir dikdörtgen orifis kullanarak deneysel bir çalışma

gerçekleştirmişlerdir. Kararsız akım durumunda debi kapasitesi ve rezervuardaki hız alanı hakkında yeni bilgiler sunmuşlardır. Sonuçları “klasik” orifis akım sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Montes (1997); kapak altı akımların membasındaki hız dağılımları için konformal haritalama (conformal mapping) yöntemini kullanarak viskoz olmayan akım eşitliklerini çözmek için sayısal bir teknik geliştirmiştir. Hesaplamaların sonuçları, önceki viskoz olmayan akım çözümleri ile ve akım alanı boyunca su yüzey profili, hız ve basınç dağılımları için deneysel sonuçlarla uyum göstermiştir. Potansiyel akım çözümünün deneysel verilerle karşılaştırılması, gerçek sıvı etkilerinin hız ve basınç dağılımları üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğunu ve bu da mevcut az miktarda deneyle uyum içinde olduğunu ortaya koymuştur.

Powell ve Khan (2011, 2012); dairesel orifislerin membasındaki oyulma çukuru oluşumunu ve sediment taşınım mekanizmasını araştırmışlardır. Sediment taşınım mekaniği, maksimum oyulma derinliği ve dairesel bir orifisin membasındaki oyulma çukuru hacmi, permenan akım koşullarında incelenmiştir.

Khan, Wicklein, Rashid, Ebner ve Richards (2004); türbin ağızlarına sediment sürüklenmesini incelemişlerdir. Amaç, genç balıkların mansap yönünde göçüne yardımcı olan bir savak akım modeli oluşturmaktır. Barajın türbin ünitesinin üç boyutlu (3D) hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modeli oluşturulmuştur. Sayısal model, 1: 25 ölçekli fiziksel modelde hız dağılımlarını karşılaştırarak doğrulanmıştır.

Tataroğlu (2014); bir rezervuarda yatay bir su alma yapısından dolayı çevrinti oluşumunu üç boyutlu sayısal modelleme yöntemi ile incelemiştir. Boru çapı, su alma yapısının yan duvarlara olan mesafesi ve akımın debisi gibi sistemin geometrik ve hidrolik şartları değiştirilmiş ve bu durumların her birisi için kritik batıklık derinliği tespit edilmiştir. Sayısal modelde hava girişli çevrintiyi yakalamak mümkün olsa da, deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında kritik batıklık derinliklerinde sapmalar bulunmuştur.

Lucino, Liscia ve Duro (2010); çalışmasında, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modelinin pompa ile su alınan bir ağız üzerinde çevrinti oluşumunu tahmin etme yeteneğini doğrulamayı amaçlamıştır. Aynı çalışma koşulları altında, deneysel sonuçların

bilindiği geometrik olarak basit bir pompa-su kuyusunda çevrintileri tanımlamayı amaçlamışlardır. Hesaplanan hızlar, ölçülenlerin doğrultu ve büyüklükleriyle uyum gösterirken, hesaplanan maksimum çevrinti değerleri, ölçülenlerden daha yüksek bulunmuştur.

Guyot, Maaloul ve Archer (2012); aşağıya doğru düşey bir drenaj borusundaki akıma ait yüzey akım simülasyonu için 3 boyutlu HAD yazılımı olan Flow 3D'nin ne kadar güvenilir olduğunu test etmiştir. 3 boyutlu HAD yazılımı simülasyonunun ilk amacı, Flow 3D'nin fiziksel olarak var olduğunda bir çevrintiyi temsil edip edemediğini kontrol etmektir. İkinci amacı, çevrintiyi fiziksel deneylerde görüldüğü şekliyle temsil eden en basit HAD parametreleri kümesini bulmaktır. Çalışmasının sonucunda Flow 3D'nin bir girdabı temsil edebileceğini göstermişlerdir.

Tokay ve Constantinescu (2006); pompa giriş akımını ve ilgili çevrintileri tahmin etmek için güvenilir bir sayısal model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, basınçlı bir pompa ağzındaki akımı ve çevrinti yapılarını tahmin etmek için türbülans modeli olarak large-eddy simulation (LES) kullanmışlardır.

Nakayama ve Hisasue (2010); küçük ölçekli hidroelektrik santralin giriş kanalındaki üç boyutlu kararsız akımı, large eddy simulation (LES) türbülans modelini kullanıp sayısal olarak modellemişlerdir. Serbest yüzey girdabının oluşumunu ve zaman gelişimi ile ilişkili serbest yüzey çöküntüsünü iyi bir şekilde yakalamışlardır.

Aköz, Kırkgöz ve Öner (2009); düşey bir kapağın membasındaki 2 boyutlu türbülanslı kanal akım hızlarını ölçmek için laboratuvar deneyleri yapmışlardır. Deney ile aynı koşullara sahip olan akış durumunu, hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonu ile analiz etmişlerdir. Sonlu elemanlar metodunu, standart $k-\epsilon$ ve standart $k-\omega$ türbülans modellerini kullanarak temel hidrolik denklemlerini çözmek için kullanmışlardır. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması, $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanarak yapılan sayısal simülasyonun, $k-\omega$ türbülans modeline göre daha doğru hız alanı ve serbest yüzey profilini öngördüğünü göstermişlerdir.

Sarkardeh, Zarrati, Jabbari ve Tavakkol (2014); yüzey çevrintilerinin varlığında bir rezervuardaki hız alanını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyleri, yatay bir ağız için

sabit batıklık derinliği ve iki farklı giriş Froude sayısı ile gerçekleştirmişlerdir. Sonuçları rezervuardaki farklı yatay kesitlerde sunmuş ve karşılaştırmışlardır. Düşey ve yatay hızların hakim olduğu alanları belirlemişlerdir.

2.1. Çalışmanın Yöntemi ve Kapsamı

Literatürde su alma ağızları civarındaki hız dağılımının bulunması için kullanılan potansiyel akım kabul ve çözümü bu çalışmada da kullanılmıştır. Farklı ağız şekilleri için potansiyel akım fonksiyonları elde edilmiş ve buradan da potansiyel fonksiyon tanımından yararlanılarak hız bileşenleri elde edilmiştir. Hız dağılımları, öncelikle hiçbir sınır etkisi olmayan durumlar için bulunmuş daha sonra kanal tabanının ve yan duvarının etkileri ayrı ayrı çözüme eklenmiştir. Elde edilen denklemlerin çözümü MATLAB ortamında bir kod yazılarak yapılmıştır. Bulunan sonuçlar, mevcut literatürde bulunan deneysel sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Literatürdeki deneysel sonuçlar, dairesel ağız için kanal boyunca aksel hızın değişimi ile düşey düzlemde eş hız eğrilerine ait verileri içermektedir.

Deneysel verilerinin bulunmadığı durumda hesaplamalı akışkanlar dinamiği ilkelerini kullanan bir paket program (Flow 3D) yardımıyla sayısal olarak elde edilen sonuçlar teorik neticeler ile karşılaştırılmıştır. Flow 3D modelinin kalibrasyonu dairesel ağız için mevcut deney verilerini kullanarak yapılmıştır. Daha sonra, yazılım farklı akım ve geometrik koşullar (akımda engel etkisinin olmadığı ve yan duvar etkisi ile kanal taban etkisinin olduğu durumlar) için çalıştırılarak farklı ağızların (enin yüksekliğe oranı 4, 2, 1/4, 1/2 olan dikdörtgenler, kare, 45° döndürülmüş kare, eşkenar üçgen, 180° döndürülmüş eşkenar üçgen, eşkenar dörtgen ile 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen) membasındaki hız dağılımları karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasında, potansiyel akım kabul ve çözümü Bölüm 3’de, sayısal model kurulumu ile ilgili açıklamalar Bölüm 4’de, elde edilen sonuçların yorum ve kıyaslamaları Bölüm 5’de sunulmuş son olarak ulaşılan sonuçlar Bölüm 6’da özetlenmiştir.

3. TEORİK ÇALIŞMA – POTANSİYEL AKIM ÇÖZÜMÜ

Su alma ağızlarının veya kapak altı akımlarının membasındaki hız dağılımlarını elde etmek için potansiyel akım yaklaşımının mevcut çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir (Shammaa ve diğerleri (2005); Bryant ve diğerleri (2008); Yıldırım ve diğerleri (2012); Yıldırım ve Taştan (2009)). Bu çalışmanın teorik kısmında da ölü son duvarından su alan farklı enkesit şekillerine sahip ağızların membasındaki hız dağılımlarını bulabilmek için potansiyel akım kabul ve çözümü uygulanmıştır. Çözümün detaylarına geçmeden önce potansiyel akım yaklaşımının hangi kabulleri içerdiği ve potansiyel akım kabulünde akım alanında tanımlanan hız potansiyel fonksiyonu ve akım fonksiyonlarının tariflerinden bahsedilecektir.

3.1. Potansiyel Akım

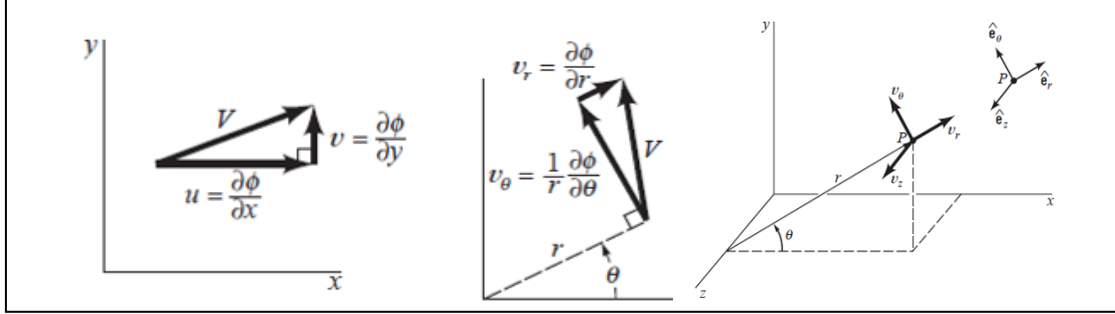
Potansiyel akım, hız potansiyel fonksiyonun var olduğu akımlara denmektedir. Hız potansiyel fonksiyonunun var olabilmesi için ise akımın dönmesiz (irrotational) olması gerekmektedir. Dönmesizlikten ötürü potansiyel akım kabulü yapılan akımlarda sıvı elemanlarına etkileyen net kayma gerilmesi sıfırdır. Hız potansiyel fonksiyonu öyle bir fonksiyondur ki, hangi doğrultuya göre türevi alınırsa akım içerisinde o doğrultudaki hız bileşeninin bulunmasını sağlar. Kartezyen ve silindirik koordinatlardaki hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) ile hız bileşenleri arasındaki bağıntılar aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir (Şekil 3.1).

$$v_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad , \quad v_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad , \quad v_z = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad , \quad P = P(x, y, z) \quad (3.1)$$

$$v_r = \frac{\partial \phi}{\partial r} \quad , \quad v_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \quad , \quad v_z = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad , \quad P = P(r, \theta, z) \quad (3.2)$$

Eş. 3.1’de V_x , V_y , V_z kartezyen koordinatlarda x , y , z yönlerindeki hız bileşenlerini, Eş. 3.2’de V_r , V_θ , V_z ise silindirik koordinatlarda r , θ , z yönlerindeki hız bileşenini gösterir. Hız potansiyel fonksiyonu aynı zamanda sıkıştırılmaz bir akım için aşağıda verilen Eş. 3.3’deki Laplace denklemini de sağlar.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.3)$$



Şekil 3.1. 2-Boyutlu ve 3-Boyutlu akım alanında hız potansiyel fonksiyonunun hız bileşenlerinin kartezyen ve polar koordinatlarda gösterimi (Munson, Young, Okiishi and Huebsch (2009): 272, 286)

Şekil 3.1’de r radyal mesafeyi, θ x eksenine r arasında saat yönünün tersindeki açığı, V bileşke hız vektörünü, e_r , e_θ , e_z de sırasıyla r , θ , z yönlerindeki birim vektörleri gösterir.

3.2. Akım Fonksiyonu

Akım fonksiyonu (ψ) ise iki boyutlu veya üç boyutlu eksenel simetrik akımlarda sıkışmaz akım için tanımlanan bir fonksiyondur. Kartezyen ve silindirik koordinatlarda hız bileşenleri ile akım fonksiyonu arasındaki ilişkiler aşağıda tanımlanmıştır (Şekil3.2).

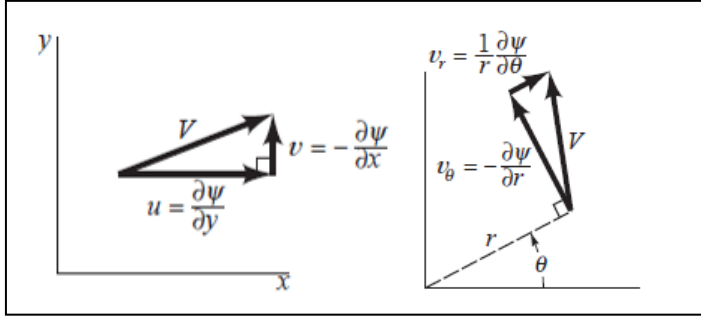
$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad , \quad v_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (3.4)$$

$$v_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad , \quad v_\theta = -\frac{\partial \psi}{\partial r} \quad (3.5)$$

Eş. 3.4 ve 3.5’te verilen kartezyen ve silindirik koordinatlarda hız bileşenlerinin akım fonksiyonu cinsinden gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir.

Akım fonksiyonu ise dönmesiz akımlar için kartezyen koordinatlar da Laplace denklemini sağlar. Bu denklem Eş. 3.6’da verilmiştir.

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (3.6)$$

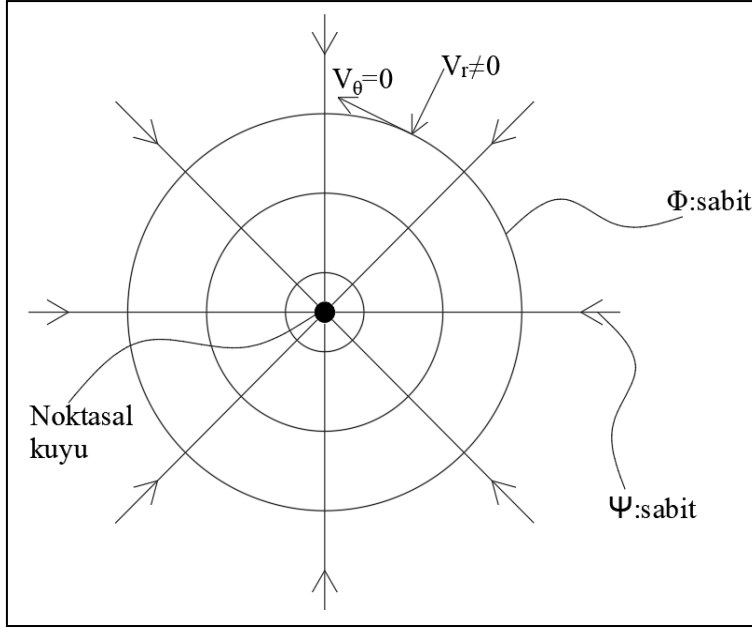


Şekil 3.2. 2-Boyutlu akım alanında akım çizgisi fonksiyonunun hız bileşenlerinin kartezyen ve polar koordinatlarda gösterimi (Munson, Young, Okiishi and Huebsch (2009): 273, 274)

Hız potansiyel ve akım fonksiyonları için elde edilen Laplace denklemleri lineer ve homojen denklemler oldukları için süperpozisyon geçerlidir. Yani bu denklemlerin çözümlerinin toplamı da bir çözümdür.

3.3. Noktasal Kuyu için Hız Potansiyel ve Akım Fonksiyonları

Su alma ağızlarına ait gerek hız dağılımının gerekse hava girişli çevrintinin incelenmesi ile ilgili yapılan birçok çalışmada su alma ağızı noktasal kuyu olarak kabul edilmiştir (Yıldırım ve diğerleri, 2009, 2012; Yıldırım ve Taştan 2009). Noktasal kuyu kabulü, ağza ait tüm debinin ağız merkezinde bulunan bir noktadan geçtiği varsayımına dayanır. Hız vektörleri tamamen radyal olup hız potansiyel fonksiyonu eğrileri iç içe geçmiş kürelerden oluşur. Noktasal kuyu durumunda hız vektörleri Şekil 3.3’de 2 boyutlu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Noktasal kuyu için hız vektörleri, akım ve hız potansiyel fonksiyonları

Noktasal kuyu durumunda küresel koordinatlarda hız potansiyel fonksiyonu, akım fonksiyonu ve hız bileşenleri aşağıda verilmiştir. Eş. 3.7’de Q noktasal kuyuya ait debi değerini gösterir ve r ekseninin pozitif yönü ile V_r ’nin yönü ters olduğu için noktasal kuyu durumunda Q ’nun önünde (-) işareti konmalıdır.

$$v_r = \frac{Q}{4\pi r^2} \quad , \quad v_\theta = 0 \quad (3.7)$$

$$v_r = \frac{\partial \phi}{\partial r} \quad , \quad \phi = -\frac{Q}{4\pi r} \quad (3.8)$$

$$v_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad , \quad \psi = -\frac{Q}{4\pi} \theta \quad (3.9)$$

Görüldüğü gibi radyal hız bileşeni $r = 0$ ’da bir tekillik noktasına sahiptir. Radyal mesafe sıfıra doğru yaklaştıkça radyal hız gerçeğe aykırı bir şekilde sonsuza doğru gitmektedir. Bu durum da, ağza yakın akım alanında hız dağılımlarını elde ederken noktasal kuyu kabulünün gerçekçi olmayan sonuçlar vereceğini doğurmaktadır. Bu yüzden araştırmacılar farklı yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Bunlardan Shammaa ve diğerleri (2005) ve Bryant ve diğerleri (2008), ağız merkezinde tek bir noktasal kuyu almak yerine ağız kesiti içerisine üniform olarak dağılmış eşit şiddetli diferansiyel noktasal kuyuları toplayarak ağız akımına ait hız potansiyel fonksiyonu ve dolayısıyla hız bileşenlerini elde etmişlerdir. Böylece bir ölü son duvarından akım alan ağızlarda, ağza yakın yerlerde eş hız eğrilerinin şekli yarı

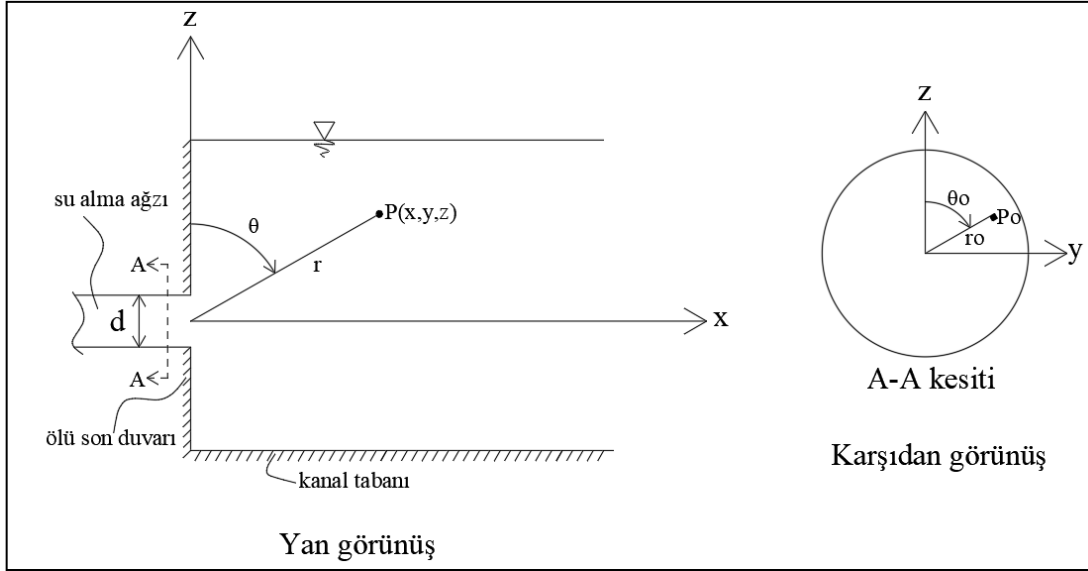
eliptik olurken ağza uzak yerlerde yarı küresel olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmada da farklı en kesit geometrilerine sahip su alma ağızlarının membasındaki hız dağılımları hesaplanırken Shammaa ve diğerleri (2005)'in önerdiği ve Bryant ve diğerleri (2008)'in deney sonuçları ile daha uyumlu hale getirdiği bu yöntem izlenecektir. Bu yöntemin detayları ve farklı kesitli su alma ağızlarına nasıl uygulandığı aşağıda anlatılmıştır.

3.4. Farklı Enkesit Şekillerine Sahip Su Alma Ağızlarının Membasındaki Hız Dağılımlarının Potansiyel Akım Çözümü ile Elde Edilmesi

Bu çalışmada ölü son duvarından su alan farklı enkesit şekillerine sahip su alma ağızlarının membasındaki hız dağılımı literatürde dairesel su alma ağızları için Bryant ve diğerleri (2008) tarafından önerilen yöntemle bulunmaya çalışılmıştır. Böylece önerilen yöntemin farklı ağız şekilleri olması durumunda doğruluğu test edilmiş olacaktır. Farklı enkesit şekillerine sahip su alma ağızlarına ait çözüme geçmeden önce Bryant ve diğerleri (2008)'in dairesel su alma ağızı için önerdiği çözüm aşağıda anlatılmıştır.

3.4.1. Dairesel ağız için potansiyel akım çözümü

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi ölü son duvarından su alan dairesel bir su alma ağızı düşünölsün. Ağızın akım sınırlarına olan mesafesi (kanal tabanı, kanal yan duvarları ve su yüzeyi) yeterince uzak olduğu kabul edilsin. Şekil 3.4'te, d ağızın çapı, P akış alanındaki herhangi bir (x,y,z) nokta, θ z-ekseni ile ağız merkezi ve P noktasını bağlayan doğru arasındaki açı, r noktasal kuyu ile P noktası arasındaki mesafe, P_0 ağız içerisindeki diferansiyel bir noktasal kuyunun konumu, r_0 ağız merkezi ile P_0 arasındaki mesafe ve θ_0 z-ekseni ile ağız merkezi ve P_0 noktasını bağlayan doğru arasındaki açıdır.



Şekil 3.4. Dairesel ağız için koordinat sisteminde yan görünüş ve karşıdan görünüş

Noktasal kuyu için potansiyel akım fonksiyonu ϕ aşağıda verilmiştir.

$$\phi = \frac{m}{r} \quad , \quad m = -\frac{Q}{2\pi} \quad (3.10)$$

Burada m kuyunun gücünü, Q kuyunun debisini gösterir. Q debisi ölü son duvarından çekildiği için 4π yerine 2π 'ye bölünmüştür.

Dairesel su alma ağızı içerisinde P_0 noktasında bulunan dm gücüne, dA alanına sahip diferansiyel bir kuyu elemanı düşünölsün. Bu diferansiyel kuyu elemanının r yönündeki uzunluğu dr_0 , θ yönündeki açısı $d\theta_0$ olsun. Eş. 3.10'a benzer şekilde dm gücüne sahip diferansiyel kuyu için hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$d\phi = \frac{dm}{r} \quad , \quad dm = -\frac{dQ}{2\pi} \quad (3.11)$$

$$dQ = V_0 dA \quad , \quad dA = r_0 d\theta_0 dr_0 \quad , \quad V_0 = \frac{Q}{\pi d^2/4} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (3.12)$$

Burada V_0 ağız içindeki kesit ortalama hızıdır, Eş. 3.12'deki tanımlar debi dQ , alan dA ve kesit ortalama hız V_0 ; Eş. 3.11'de yerlerine koyulup düzenlendiğinde aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$dm = -\frac{V_0 dA}{2\pi} \quad , \quad dm = -\frac{\frac{4Q}{\pi d^2} r_0 d\theta_0 dr_0}{2\pi} = -\frac{2Q}{\pi^2 d^2} r_0 d\theta_0 dr_0 \quad (3.13)$$

$$d\phi = \frac{dm}{r} = -\frac{2Q}{\pi^2 d^2} \frac{r_0 d\theta_0 dr_0}{r} \quad (3.14)$$

Daha önce de belirtildiği üzere r , seçilen diferansiyel eleman ile akım alanındaki bir nokta arasındaki mesafeyi gösterir. Dairesel ağzın yarıçapı ile karışmaması için aşağıdaki Eş. 3.15'deki gibi r yerine L denilmiştir.

$$r = L = [x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{1/2} \quad (3.15)$$

Eş. 3.15'de diferansiyel kuyunun konumunu gösteren y_0 ve z_0 polar koordinatlarda eşitliği $y_0 = r_0 \sin\theta_0$, $z_0 = r_0 \cos\theta_0$ şeklinde olup $x_0 = 0$ 'dır. Eş. 3.15, Eş. 3.14'de yerine konup integral alındığında hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) Eş. 3.16'daki gibi elde edilir.

$$\phi = \left(-\frac{2Q}{\pi^2 d^2}\right) \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{1/2}} \quad (3.16)$$

İntegralin içindeki payda, Şekil 3.4'te de gösterildiği gibi ağzın membasındaki herhangi bir nokta (P) ile diferansiyel kuyu (P_0) arasındaki mesafeyi temsil eder. İntegralin sınırları ağzı kapsayacak şekilde seçilir. r_0 'ın sınırı 0'dan $d/2$ 'ye (ağzın yarıçapı'na), θ_0 'ın sınırı 0'dan 2π 'ye olur.

Asıl amaç ise, hız bileşenlerini elde etmektir. Potansiyel fonksiyonun özelliğinin, hangi yönde türevi alınırsa akım içerisinde o yöndeki hız bileşenini verdiği açıklanmıştı. Bu bilgiyi kullanarak bulunan potansiyel fonksiyondan (Eş. 3.16) hız bileşenleri elde edilebilir.

$$V_x = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \left(-\frac{2Q}{\pi^2 d^2}\right) \left(-\frac{1}{2}\right) (2x) \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}}$$

$$V_x = \frac{2Q}{\pi^2 d^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}} \quad (3.17)$$

Eş. 3.12’de yer alan kesit ortalama hızı, V_0 , Eş. 3.17’de kullanılırsa Eş. 3.18-a’da verilen x yönündeki boyutsuz hız bileşeni bulunur.

$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y-r_0 \sin\theta_0)^2 + (z-r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}} \quad (3.18-a)$$

x yönündeki hız bileşenini bulmak için yapılan işlemler y ve z yönleri için de uygulanırsa bu yönlerde ait hız bileşenleri de aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{V_y}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y-r_0 \sin\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y-r_0 \sin\theta_0)^2 + (z-r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}} \quad (3.18-b)$$

$$\frac{V_z}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z-r_0 \cos\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y-r_0 \sin\theta_0)^2 + (z-r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}} \quad (3.18-c)$$

Böylece kartezyen koordinat sisteminde ağzın membasındaki herhangi bir nokta için radyal hız belirlenebilir. Radyal hızların eşit olduğu eğriler eş hız eğrileri olarak adlandırılır.

x-z düzlemindeki radyal hız elde etmek için x ve z doğrultusundaki hız bileşenleri olan V_x ve V_z kullanılmalıdır.

x-z düzleminde;

$$V_r = \sqrt{V_x^2 + V_z^2} \quad (3.19-a)$$

Benzer şekilde x-y düzlemindeki radyal hızı elde etmek için x ve y doğrultusundaki hız bileşenleri olan V_x ve V_y , y-z düzlemindeki radyal hız elde etmek için ise y ve z doğrultusundaki hız bileşenleri olan V_y ve V_z kullanılmalıdır.

x-y düzleminde;

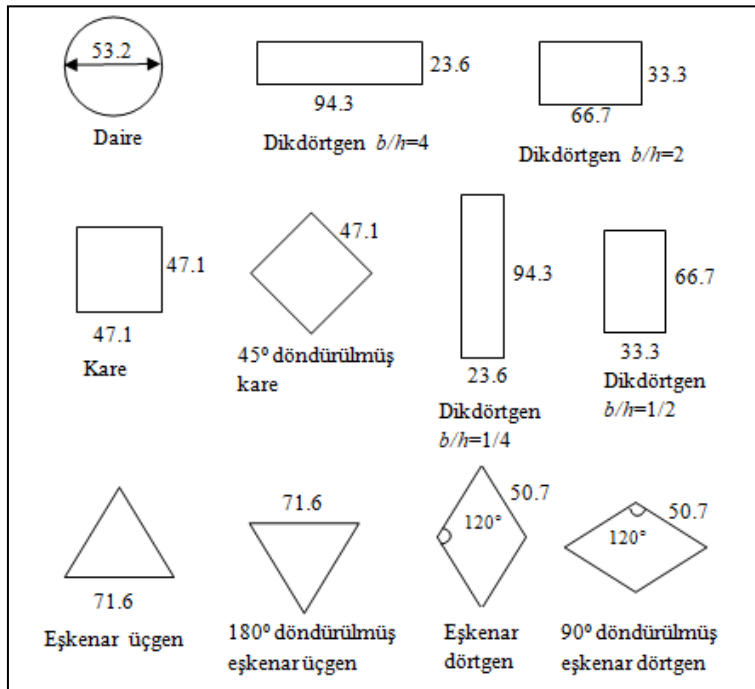
$$V_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (3.19-b)$$

y-z düzleminde;

$$V_r = \sqrt{V_y^2 + V_z^2} \quad (3.19-c)$$

3.4.2. Farklı ağız giriş geometrileri için ağızların membasındaki hız bileşenleri için potansiyel akım çözümleri

Bu çalışmada dairesel su alma ağzının yanı sıra ölü son duvarından su alan, aynı enkesit alanlarına sahip on farklı ağız girişi geometrisi incelenmiştir. Bu geometriler enin yüksekliğe oranı 4, 2, 1/4, 1/2 olan dikdörtgenler, kare, 45° döndürülmüş kare, eşkenar üçgen, 180° döndürülmüş eşkenar üçgen, eşkenar dörtgen (dar açısı 60°) ile 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen'den oluşmaktadır ve aşağıda Şekil 3.5'te verilmiştir (Tüm ağızların enkesit alanı, bu çalışmanın devamında olabilecek deney çalışmaları düşünülerek Gazi Üniversitesi Hidrolik laboratuvarında en çok kullanılan 5,32 cm çaplık dairesel borunun alanına eşit alınmıştır).

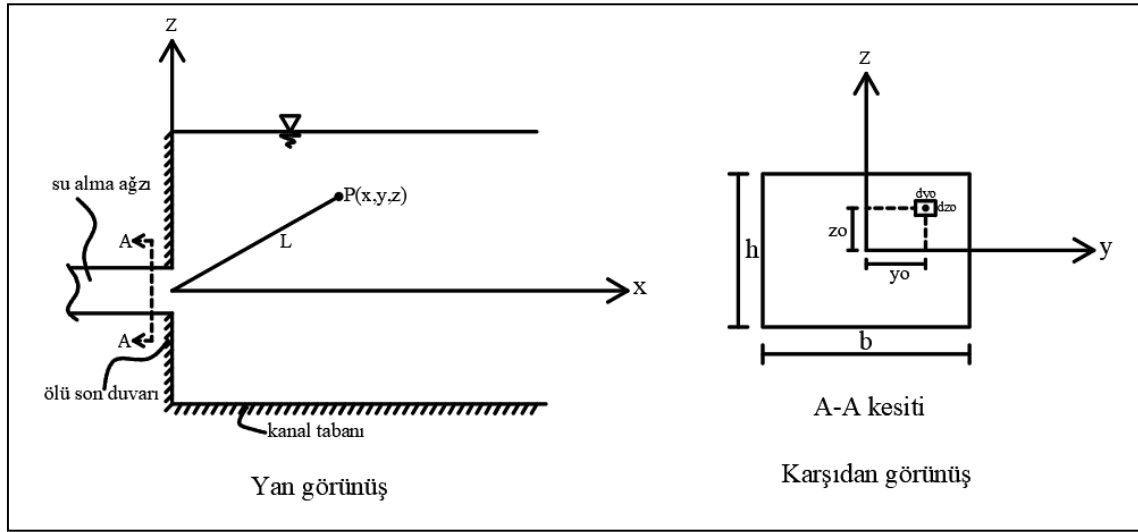


Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan su alma ağızı giriş kesitleri (Tüm ölçüler mm cinsindedir).

Dairesel kesitli su alma ağızı için anlatılan yönteme benzer çözümler yapılarak bu çalışmada kullanılan ölü son duvarından su alan ve Şekil 3.5'te yer alan on farklı ağız geometrisinin her biri için potansiyel fonksiyonları ve hız bileşenleri elde edilmiştir. Tüm ağızların akım sınırlarına (kanal tabanı, kanal yan duvarları, su yüzeyi) olan mesafesi yeterince büyük olduğu kabul edilmiştir. Eş. 3.10 ve Eş. 3.11'de verilen diferansiyel noktasal kuyu için potansiyel akım fonksiyonu, tüm geometriler için geçerlidir. Analizlerde değişen durumlar, kesit alanının fonksiyonu ve integral sınırlarıdır.

Dikdörtgen ve kare ağızlar

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi ölü son duvarından su alan dikdörtgensel bir su alma ağızı düşünölsün. Ağızın akım sınırlarına (kanal tabanı, kanal yan duvarları, su yüzeyi) olan mesafesi yeterince uzak olduğı kabul edilsin. Şekil 3.6’da b dikdörtgenin eni, h dikdörtgenin yüksekliğidir.



Şekil 3.6. Dikdörtgen ağıza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş

Dikdörtgensel su alma ağızı içerisinde P_0 noktasında bulunan dm gücüne, dA alanına sahip diferansiyel bir kuyu elemanı göz önüne alınsın. Bu diferansiyel kuyu elemanının y yönündeki uzunluğu dy_0 , z yönündeki uzunluğu dz_0 olsun. Eş. 3.10’a benzer şekilde dm gücüne sahip diferansiyel kuyu için hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ Eş.3.11’deki gibi yazılabilir.

$$dQ = V_0 dA \quad , \quad dA = dz_0 dy_0 \quad , \quad V_0 = \frac{Q}{bh} \quad (3.20)$$

Burada V_0 ağız içindeki kesit ortalama hızıdır, Eş. 3.20’deki tanımlar debi dQ , alan dA ve kesit ortalama hız V_0 ; dairesel su alma ağızında olduğı gibi Eş.3.11’de yerlerine koyulup düzenlendiğinde hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ elde edilir.

$$d\phi = \frac{dm}{r} = -\frac{dQ}{2\pi r} = -\frac{Q}{2\pi bh} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (3.21)$$

Eş. 3.21'in integrali dikdörtgen ağzın sınırları yerine koyularak alınmış ve hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$\phi = -\frac{Q}{2\pi b h} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (3.22)$$

İntegralin içindeki payda, Şekil 3.6'da da gösterildiği gibi ağzın membasındaki herhangi bir nokta (P) ile diferansiyel kuyu (P_0) arasındaki mesafeyi temsil eder. İntegralin sınırları ağızı kapsayacak şekilde seçilir. z_0 'ın sınırı $-h/2$ 'den $h/2$ 'ye (dikdörtgenin yüksekliğine), y_0 'ın sınırı $-b/2$ 'den $b/2$ 'ye (dikdörtgenin enine) olur.

Dairesel ağızda ki benzer bir işlem yapılarak bulunan potansiyel fonksiyondan (Eş. 3.22) hız bileşenleri elde edilebilir.

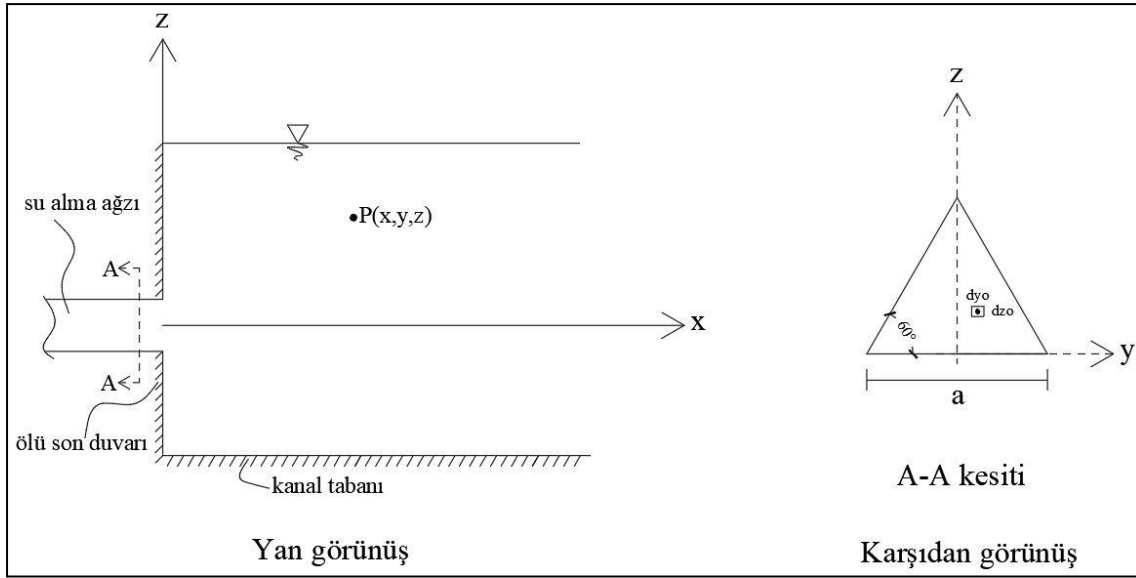
$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \quad (3.23-a)$$

$$\frac{V_y}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \quad (3.23-b)$$

$$\frac{V_z}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \quad (3.23-c)$$

Eşkenar üçgen ağız

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi ölü son duvarından su alan üçgensel bir su alma ağızı düşünölsün. Ağızın akım sınırlarına (kanal tabanı, kanal yan duvarları, su yüzeyi) olan mesafesi yeterince uzak olduğı kabul edilsin. Şekil 3.7’de a , eşkenar üçgenin bir kenarının uzunluğudur. Bu geometri için iki tane dik üçgen düşünölerek çözüm yapılabilir.



Şekil 3.7. Eşkenar üçgen ağıza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş

Üçgensel su alma ağızı içerisinde P_0 noktasında bulunan dm gücüne, dA alanına sahip diferansiyel bir kuyu elemanı düşünölsün. Bu diferansiyel kuyu elemanının y yönündeki uzunluğu dy_0 , z yönündeki uzunluğu dz_0 olsun. Eş. 3.10’a benzer şekilde dm gücüne sahip diferansiyel kuyu için hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ Eş. 3.11’deki gibi yazılabilir.

$$dQ = V_0 dA \quad , \quad dA = dz_0 dy_0 \quad , \quad V_0 = \frac{Q}{\frac{a^2\sqrt{3}}{4}} \quad , \quad V_0 = \frac{4Q}{a^2\sqrt{3}} \quad (3.24)$$

Burada V_0 ağız içindeki kesit ortalama hızıdır, Eş.3.24’deki tanımlar debi dQ , alan dA ve kesit ortalama hız V_0 ; dairesel su alma ağızında olduğı gibi Eş. 3.11’de yerlerine koyulup düzenlendiğinde hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ elde edilir.

$$d\phi = \frac{dm}{r} = -\frac{dQ}{2\pi r} = -\frac{4Q}{2\pi a^2\sqrt{3}} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (3.25)$$

Eş. 3.25'in integrali alındığında hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) bulunmuş olur.

$$\phi = -\frac{4Q}{2\pi a^2 \sqrt{3}} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} + \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} \right] \quad (3.26)$$

İntegralin içindeki payda, Şekil 3.7'de de gösterildiği gibi ağzın membasındaki herhangi bir nokta (P) ile diferansiyel kuyu (P_0) arasındaki mesafeyi temsil eder. İntegralin sınırları ağızı kapsayacak şekilde seçilir. Bu üçgensel ağız iki adet dik üçgen parçasına sahiptir. z_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 60(a/2 - y_0)$ 'a ve ikinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 60(a/2 + y_0)$ 'a, y_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $a/2$ 'ye ve ikinci üçgen parçası için $-a/2$ 'den 0'a olur.

Eşitlik 3.26'daki potansiyel fonksiyon kullanılarak hız bileşenleri aşağıdaki gibi elde edilebilir.

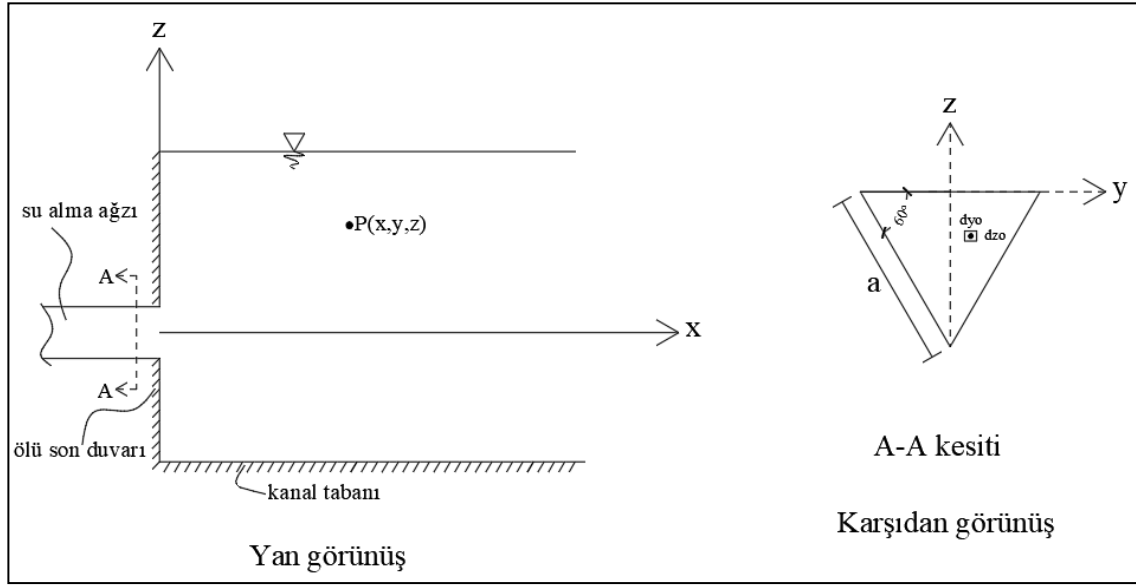
$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \right] \quad (3.27-a)$$

$$\frac{V_y}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(y - y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(y - y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \right] \quad (3.27-b)$$

$$\frac{V_z}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(z - z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(z - z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \right] \quad (3.27-c)$$

180° döndürülmüş eşkenar üçgen ağız

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi ölü son duvarından su alan 180° döndürülmüş üçgensel bir su alma ağızı düşünölsün. Ağızın akım sınırlarına (kanal tabanı, kanal yan duvarları, su yüzeyi) olan mesafesi yeterince uzak olduğı kabul edölsün. Şekil 3.8’de a , 180° döndürölmüş eşkenar üçgenin bir kenarının uzunluğudur. Bu geometri için de eşkenar üçgendeiki tane dik üçgen düşünölerek çözüm yapılabilir.



Şekil 3.8. 180° döndürölmüş eşkenar üçgen ağıza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş

Üçgensel su alma ağızı içerisinde P_0 noktasında bulunan dm gücüne, dA alanına sahip diferansiyel bir kuyu elemanı düşünölsün. Bu diferansiyel kuyu elemanının y yönündeki uzunluğu dy_0 , z yönündeki uzunluğu dz_0 olsun. Eş. 3.10’a benzer şekilde dm gücüne sahip diferansiyel kuyu için hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ Eş. 3.11’deki gibi yazılabilir.

$$dQ = V_0 dA \quad , \quad dA = dz_0 dy_0 \quad , \quad V_0 = \frac{Q}{\frac{a^2\sqrt{3}}{4}} \quad , \quad V_0 = \frac{4Q}{a^2\sqrt{3}} \quad (3.28)$$

Burada V_0 ağız içindeki kesit ortalama hızıdır, Eş. 3.28’deki tanımlar debi dQ , alan dA ve kesit ortalama hız V_0 ; dairesel su alma ağızında olduğı gibi Eş. 3.11’de yerlerine koyulup düzenlendiğinde hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ elde edilir.

$$d\phi = \frac{dm}{r} = -\frac{dQ}{2\pi r} = -\frac{4Q}{2\pi a^2\sqrt{3}} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (3.29)$$

Eş. 3.29'un integrali alındığında hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) bulunmuş olur.

$$\phi = -\frac{4Q}{2\pi a^2 \sqrt{3}} \left[\int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}-y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{1/2}} + \right. \\ \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}+y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{1/2}} \right] \quad (3.30)$$

İntegralin içindeki payda, Şekil 3.8'de de gösterildiği gibi ağzın membasındaki herhangi bir nokta (P) ile diferansiyel kuyu (P_0) arasındaki mesafeyi temsil eder. İntegralin sınırları ağız kapsayacak şekilde seçilir. Bu 180° döndürülmüş üçgensel ağız iki adet dik üçgen parçasına sahiptir. z_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için $-\tan 60(a/2-y_0)$ 'dan 0 'a ve ikinci üçgen parçası için $-\tan 60(a/2+y_0)$ 'dan 0 'a, y_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0 'dan $a/2$ 'ye ve ikinci üçgen parçası için $-a/2$ 'den 0 'a olur.

Eşitlik 3.30 kullanılarak hız bileşenleri aşağıdaki gibi elde edilebilir.

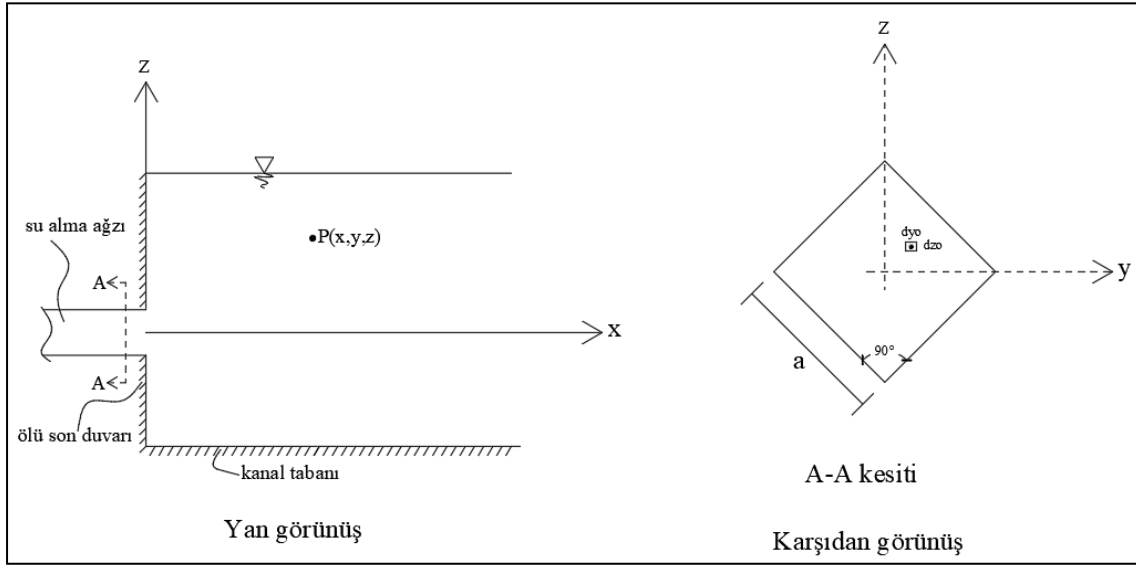
$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}-y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}+y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{3/2}} \right] \quad (3.31-a)$$

$$\frac{V_y}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}-y_0)}^0 \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}+y_0)}^0 \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{3/2}} \right] \quad (3.31-b)$$

$$\frac{V_z}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}-y_0)}^0 \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2}+y_0)}^0 \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2]^{3/2}} \right] \quad (3.31-c)$$

45° döndürülmüş kare ağız

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi ölü son duvarından su alan 45° döndürülmüş karesel bir su alma ağızı düşünölsün. Ağızın akım sınırlarına (kanal tabanı, kanal yan duvarları, su yüzeyi) olan mesafesi yeterince uzak olduğı kabul edölsün. Şekil 3.9’da a , 45° döndürölmüş karenin bir kenarının uzunluğudur. Bu geometri için dört tane ikizkenar dik üçgen mevcut gibi düşünölerek çözüm yapılabilir.



Şekil 3.9. 45° döndürölmüş kare ağıza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş

Karesel su alma ağızı içerisinde P_0 noktasında bulunan dm gücüne, dA alanına sahip diferansiyel bir kuyu elemanı düşünölsün. Bu diferansiyel kuyu elemanının y yönündeki uzunluğu dy_0 , z yönündeki uzunluğu dz_0 olsun. Eş. 3.10’a benzer şekilde dm gücüne sahip diferansiyel kuyu için hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ Eş. 3.11’deki gibi yazılabilir.

$$dQ = V_0 dA \quad , \quad dA = dz_0 dy_0 \quad , \quad V_0 = \frac{Q}{a^2} \quad (3.32)$$

Burada V_0 ağız içindeki kesit ortalama hızıdır. Eş. 3.32’deki tanımlar debi dQ , alan dA ve kesit ortalama hız V_0 ; dairesel su alma ağızında olduğı gibi Eş. 3.11’de yerlerine koyulup düzenlendiğinde hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ elde edilir.

$$d\phi = \frac{dm}{r} = -\frac{dQ}{2\pi r} = -\frac{Q}{2\pi a^2} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (3.33)$$

Eş. 3.33'ün integrali alındığında hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) bulunmuş olur.

$$\begin{aligned} \phi = & -\frac{Q}{2\pi a^2} \left[\int_0^{\cos 45a} \int_0^{\tan 45(\cos 45a - y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} + \right. \\ & \int_{-\cos 45a}^0 \int_0^{\tan 45(\cos 45a + y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} + \\ & \int_0^{\cos 45a} \int_{-\tan 45(\cos 45a - y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} + \\ & \left. \int_{-\cos 45a}^0 \int_{-\tan 45(\cos 45a + y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} \right] \end{aligned} \quad (3.34)$$

İntegralin içindeki payda, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi ağzın membasındaki herhangi bir nokta (P) ile diferansiyel kuyu (P_0) arasındaki mesafeyi temsil eder. İntegralin sınırları ağız kapsayacak şekilde seçilir. Bu 45° döndürülmüş karesel ağız, dört adet dik üçgen parçasına sahiptir. z_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 45(\cos 45a - y_0)$ 'a, ikinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 45(\cos 45a + y_0)$ 'a, üçüncü üçgen parçası için $-\tan 45(\cos 45a - y_0)$ 'dan 0'a ve dördüncü üçgen parçası için $-\tan 45(\cos 45a + y_0)$ 'dan 0'a; y_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $\cos 45a$ 'ya, ikinci üçgen parçası için $-\cos 45a$ 'dan 0'a, üçüncü üçgen parçası için 0'dan $\cos 45a$ 'ya ve dördüncü üçgen parçası için $-\cos 45a$ 'dan 0'a olur.

Eşitlik 3.34'deki potansiyel fonksiyon kullanılarak hız bileşenleri aşağıda verilmiştir.

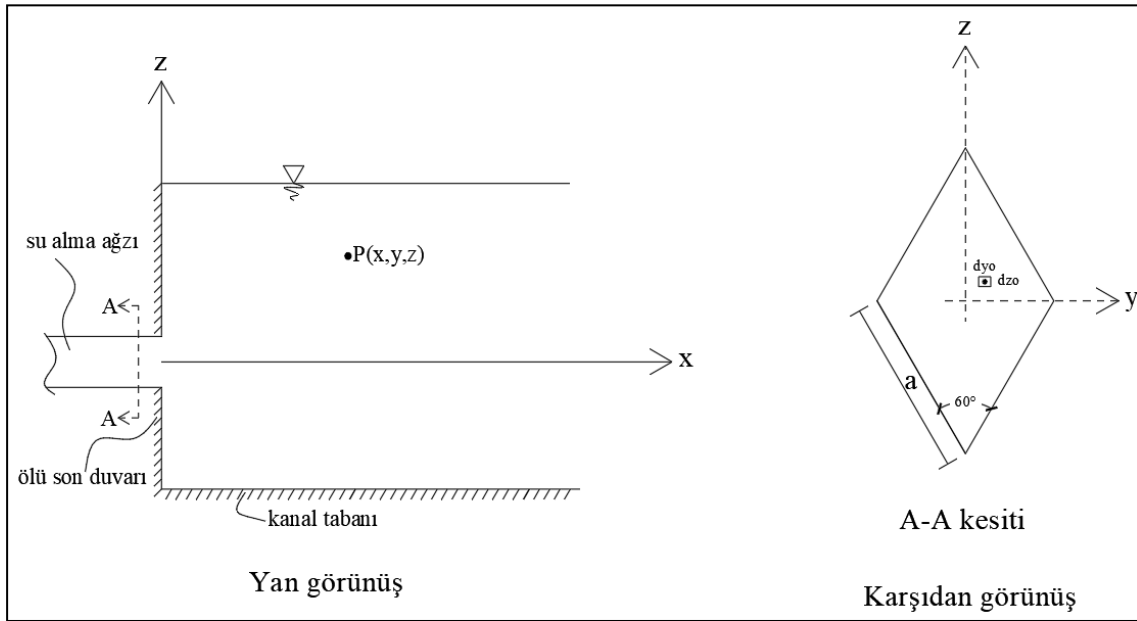
$$\begin{aligned} \frac{V_x}{V_0} = & \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\cos 45a} \int_0^{\tan 45(\cos 45a - y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ & \int_{-\cos 45a}^0 \int_0^{\tan 45(\cos 45a + y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\ & \int_0^{\cos 45a} \int_{-\tan 45(\cos 45a - y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\ & \left. \int_{-\cos 45a}^0 \int_{-\tan 45(\cos 45a + y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \right] \end{aligned} \quad (3.35-a)$$

$$\begin{aligned}
\frac{V_y}{V_0} = \frac{1}{2\pi} & \left[\int_0^{\cos 45a} \int_0^{\tan 45(\cos 45a - y_0)} \frac{(y - y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\
& \int_{-\cos 45a}^0 \int_0^{\tan 45(\cos 45a + y_0)} \frac{(y - y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \int_0^{\cos 45a} \int_{-\tan 45(\cos 45a - y_0)}^0 \frac{(y - y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \left. \int_{-\cos 45a}^0 \int_{-\tan 45(\cos 45a + y_0)}^0 \frac{(y - y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \right]
\end{aligned} \tag{3.35-b}$$

$$\begin{aligned}
\frac{V_z}{V_0} = \frac{1}{2\pi} & \left[\int_0^{\cos 45a} \int_0^{\tan 45(\cos 45a - y_0)} \frac{(z - z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\
& \int_{-\cos 45a}^0 \int_0^{\tan 45(\cos 45a + y_0)} \frac{(z - z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \int_0^{\cos 45a} \int_{-\tan 45(\cos 45a - y_0)}^0 \frac{(z - z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \left. \int_{-\cos 45a}^0 \int_{-\tan 45(\cos 45a + y_0)}^0 \frac{(z - z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \right]
\end{aligned} \tag{3.35-c}$$

Eşkenar dörtgen ağız

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi ölü son duvarından su alan eşkenar dörtgensel bir su alma ağızı düşünölsün. Ağızın akım sınırlarına (kanal tabanı, kanal yan duvarları, su yüzeyi) olan mesafesi yeterince uzak olduğı kabul edilsin. Şekil 3.10’da a , eşkenar dörtgenin bir kenarının uzunluğudur. Bu geometri için de 45° döndürölmüş karede olan dört tane dik üçgen mevcut gibi düşünölerek çözüm yapılabilir.



Şekil 3.10. Eşkenar dörtgen ağıza ait yan görünüş ve karşıdan görünüş

Eşkenar dörtgensel su alma ağızı içerisinde P_0 noktasında bulunan dm gücüne, dA alanına sahip diferansiyel bir kuyu elemanı düşünölsün. Bu diferansiyel kuyu elemanının y yönündeki uzunluğu dy_0 , z yönündeki uzunluğu dz_0 olsun. Eş. 3.10’a benzer şekilde dm gücüne sahip diferansiyel kuyu için hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ Eş. 3.11’deki gibi yazılabilir.

$$dQ = V_0 dA \quad , \quad dA = dz_0 dy_0 \quad , \quad V_0 = \frac{Q}{\frac{a^2\sqrt{3}}{2}} \quad , \quad V_0 = \frac{2Q}{a^2\sqrt{3}} \quad (3.36)$$

Burada V_0 ağız içindeki kesit ortalama hızıdır, Eş. 3.36’daki tanımlar debi dQ , alan dA ve kesit ortalama hız V_0 ; dairesel su alma ağızında olduğı gibi Eş. 3.11’de yerlerine koyulup düzenlendiğinde hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ elde edilir.

$$d\phi = \frac{dm}{r} = -\frac{dQ}{2\pi r} = -\frac{2Q}{2\pi a^2 \sqrt{3}} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (3.37)$$

Eş. 3.37'nin integrali alındığında hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) bulunmuş olur.

$$\begin{aligned} \phi = & -\frac{2Q}{2\pi a^2 \sqrt{3}} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} + \right. \\ & \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} + \\ & \int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} + \\ & \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \right] \quad (3.38) \end{aligned}$$

İntegralin sınırları ağız kapsayacak şekilde seçilir. Bu eşkenar dörtgen ağız dört adet dik üçgen parçasına sahiptir. z_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 60(a/2 - y_0)$ 'a, ikinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 60(a/2 + y_0)$ 'a, üçüncü üçgen parçası için $-\tan 60(a/2 - y_0)$ 'dan 0'a ve dördüncü üçgen parçası için $-\tan 60(a/2 + y_0)$ 'dan 0'a; y_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $a/2$ 'ye ve ikinci üçgen parçası için $-a/2$ 'den 0'a, üçüncü üçgen parçası için 0'dan $a/2$ 'ye ve dördüncü üçgen parçası için $-a/2$ 'den 0'a olur. Hız bileşenleri ise hız potansiyel fonksiyonun türevi alınarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Eşitlik 3.38'deki potansiyel fonksiyon kullanılarak hız bileşenleri aşağıdaki gibi elde edilir.

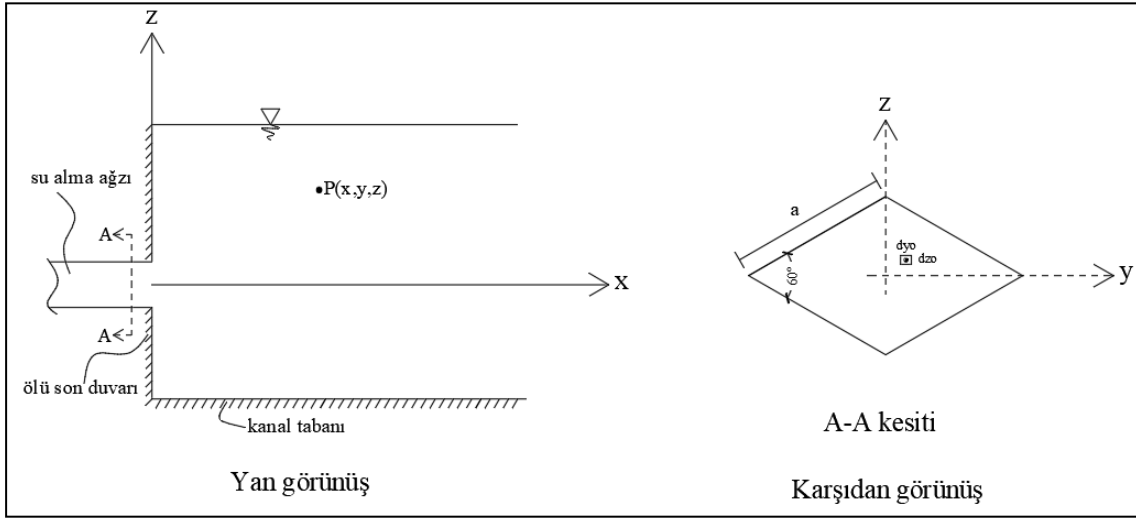
$$\begin{aligned} \frac{V_x}{V_0} = & \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ & \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\ & \int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\ & \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \right] \quad (3.39-a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{V_y}{V_0} = & \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\
& \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \right]
\end{aligned} \tag{3.39-b}$$

$$\begin{aligned}
\frac{V_z}{V_0} = & \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\
& \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \int_0^{a/2} \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \left. \int_{-a/2}^0 \int_{-\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \right]
\end{aligned} \tag{3.39-c}$$

90° döndürülmüş eşkenar dörtgen ağız

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi ölü son duvarından su alan 90° döndürülmüş eşkenar dörtgensel bir su alma ağızı düşünölsün. Ağızın akım sınırlarına (kanal tabanı, kanal yan duvarları, su yüzeyi) olan mesafesi yeterince uzak olduğı kabul edilsin. Şekil 3.11’de a , 90° döndürölmüş eşkenar dörtgenin bir kenarının uzunluğudur. Bu geometri için de eşkenar dörtgende olan dört tane dik üçgen mevcut gibi düşünölerek çözüm yapılabilir.



Şekil 3.11. 90° döndürölmüş eşkenar dörtgen ağıza ait yan ve karşıdan görünüş

90° döndürölmüş eşkenar dörtgensel su alma ağızı içerisinde P_0 noktasında bulunan dm gücüne, dA alanına sahip diferansiyel bir kuyu elemanı düşünölsün. Bu diferansiyel kuyu elemanının y yönündeki uzunluğu dy_0 , z yönündeki uzunluğu dz_0 olsun. Eş. 3.10’a benzer şekilde dm gücüne sahip diferansiyel kuyu için hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ Eş. 3.11’deki gibi yazılabilir.

$$dQ = V_0 dA \quad , \quad dA = dz_0 dy_0 \quad , \quad V_0 = \frac{Q}{\frac{a^2\sqrt{3}}{2}} \quad , \quad V_0 = \frac{2Q}{a^2\sqrt{3}} \quad (3.40)$$

Burada V_0 ağız içindeki kesit ortalama hızıdır, Eş. 3.36’daki tanımlar debi dQ , alan dA ve kesit ortalama hız V_0 ; dairesel su alma ağızında olduğı gibi Eş. 3.11’de yerlerine koyulup düzenlendiğinde hız potansiyel fonksiyonu $d\phi$ elde edilir.

$$d\phi = \frac{dm}{r} = -\frac{dQ}{2\pi r} = -\frac{2Q}{2\pi a^2\sqrt{3}} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}} \quad (3.41)$$

Eş. 3.41'in integrali alındığında hız potansiyel fonksiyonu (ϕ) bulunmuş olur.

$$\begin{aligned} \phi = & -\frac{2Q}{2\pi a^2 \sqrt{3}} \left[\int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_0^{\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} - y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} + \right. \\ & \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_0^{\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} + y_0)} \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} + \\ & \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_{-\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} + \\ & \left. \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_{-\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}} \right] \end{aligned} \quad (3.42)$$

İntegralin içindeki payda, Şekil 3.11'de de gösterildiği gibi ağzın membasındaki herhangi bir nokta (P) ile diferansiyel kuyu (P_0) arasındaki mesafeyi temsil eder. İntegralin sınırları ağızı kapsayacak şekilde seçilir. Bu 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen ağız dört adet dik üçgen parçasına sahiptir. z_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 30(\tan 60a/2 - y_0)$ 'a, ikinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 30(\tan 60a/2 + y_0)$ 'a, üçüncü üçgen parçası için $-\tan 30(\tan 60a/2 - y_0)$ 'dan 0'a ve dördüncü üçgen parçası için $-\tan 30(\tan 60a/2 + y_0)$ 'dan 0'a; y_0 'ın sınırı birinci üçgen parçası için 0'dan $\tan 60a/2$ 'ye, ikinci üçgen parçası için $-\tan 60a/2$ 'den 0'a, üçüncü üçgen parçası için 0'dan $\tan 60a/2$ 'ye ve dördüncü üçgen parçası için $-\tan 60a/2$ 'den 0'a olur.

Bu ağız için hız bileşenleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{V_x}{V_0} = & \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_0^{\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} - y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ & \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_0^{\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} + y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\ & \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_{-\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} + \\ & \left. \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_{-\tan 30(\tan 60 \cdot \frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}} \right] \end{aligned} \quad (3.43-a)$$

$$\begin{aligned}
\frac{V_y}{V_0} = \frac{1}{2\pi} & \left[\int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_0^{\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} - y_0)} \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\
& \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_0^{\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} + y_0)} \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_{-\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \\
& \left. \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_{-\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \right]
\end{aligned} \tag{3.43-b}$$

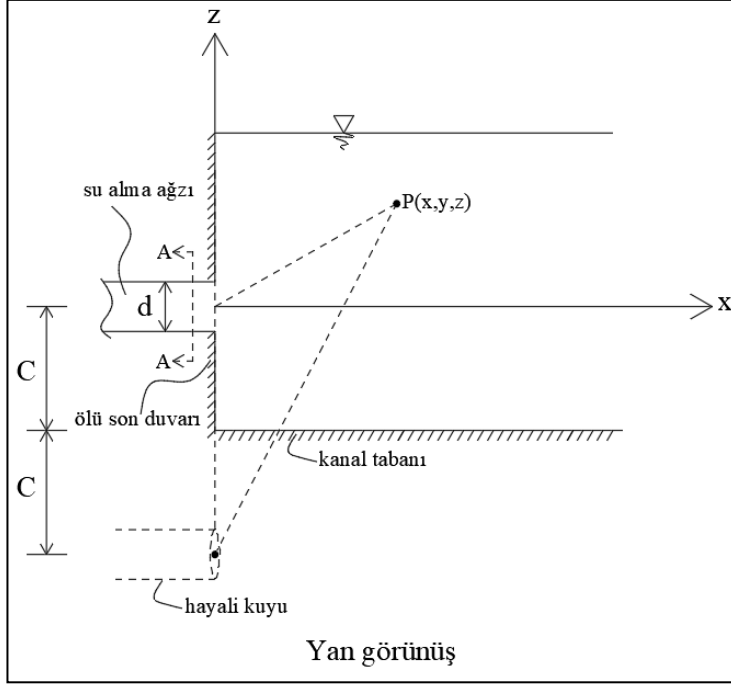
$$\begin{aligned}
\frac{V_z}{V_0} = \frac{1}{2\pi} & \left[\int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_0^{\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} - y_0)} \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{\frac{3}{2}}} + \right. \\
& \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_0^{\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} + y_0)} \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{\frac{3}{2}}} + \\
& \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2})} \int_{-\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} - y_0)}^0 \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{\frac{3}{2}}} + \\
& \left. \int_{-\tan 60(\frac{a}{2})}^0 \int_{-\tan 30(\tan 60^* \frac{a}{2} + y_0)}^0 \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{\frac{3}{2}}} \right]
\end{aligned} \tag{3.43-c}$$

3.5. Akım Engel Etkileri

Akım sınırları kanal tabanı, ölü son duvarı, kanal yan duvarları ve su yüzeyidir. Ölü son duvarı da bir akım sınırıdır ancak potansiyel akım çözümünde zaten ölü son duvarının etkisi baştan hesaba katılmıştır. Akım sınırlarının akım üzerinde iki tür etkisi vardır. Bunlardan biri sürtünme etkisi ve diğeri de engel etkisidir. Potansiyel akım çözümünde kayma gerilmesi olmadığı için sadece engel etkileri göz önüne alınmıştır. Engel etkileri göz önüne alınırken hayali kuyu yöntemi uygulanır. Bu çalışmada da her bir farklı engel etkisi için hayali kuyular oluşturulmuştur. Hayali kuyular, dikkate alınan bir sınıra göre oluşturulur ve bir hayali kuyudan gelen ilgili hız bileşeni ile gerçek kuyudan gelen ilgili hız bileşeni vektörel olarak toplanır. Birden fazla hayali kuyu durumunda, hayali kuyuların hız bileşenleri üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olana kadar hayali kuyu alma işlemine devam edilir. Aşağıda verilen engel etkileri için hız bileşenleri daire enkesitli ağız için hazırlanmıştır. Benzer şekilde incelemesi yapılan diğer on farklı geometri ağız için de hız bileşenleri elde edilmiş olup EKLER kısmında verilmiştir. Bu bölümde incelenen engel etkileri için bulunan hız denklemlerinin fonksiyonları sadece hayali kuyular içindir.

3.5.1. Sadece kanal tabanının engel etkisi

Şekil 3.12’de görülen dairesel su alma ağzının kanal tabanına mesafesi C olsun. Diğer sınırların (kanal yan duvarları ve su yüzeyine) mesafelerinin ise yeterince uzak olduğu kabul edilirse sadece hayali kuyudan kaynaklanan x , y ve z doğrultularındaki hız bileşenleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.12. Sadece kanal taban engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.44-a)$$

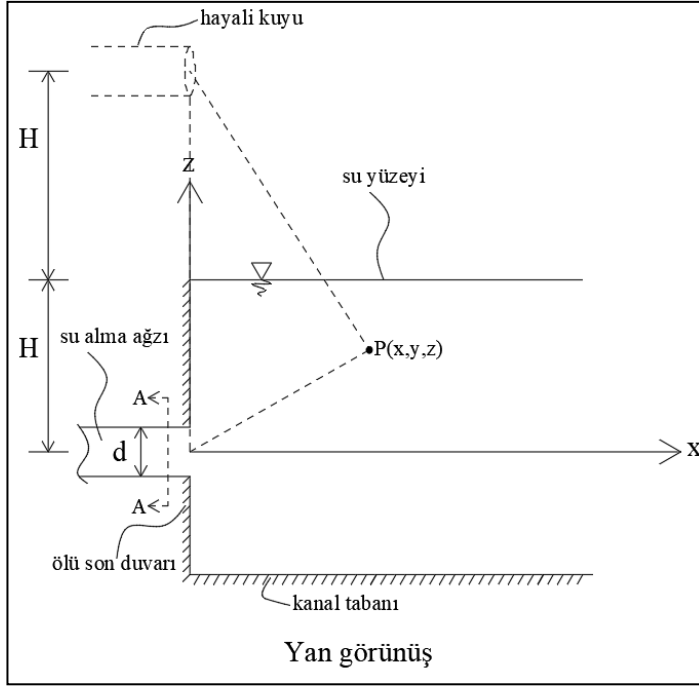
$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y - r_0 \sin\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.44-b)$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z - (-2C + r_0 \cos\theta_0)) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.44-c)$$

V_{xi} , V_{yi} ve V_{zi} hayali kuyudan dolayı x, y ve z yönlerindeki akım hızlarını gösterir.

3.5.2. Sadece su yüzeyinin engel etkisi

Şekil 3.13'te görülen dairesel su alma ağızının su yüzeyine mesafesi H olsun. Diğer sınırların (kanal yan duvarları ve kanal tabanına) mesafelerinin ise yeterince uzak olduğu kabul edilirse sadece hayali kuyudan kaynaklanan x, y ve z doğrultularındaki hız bileşenleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.13. Sadece su yüzeyi engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları

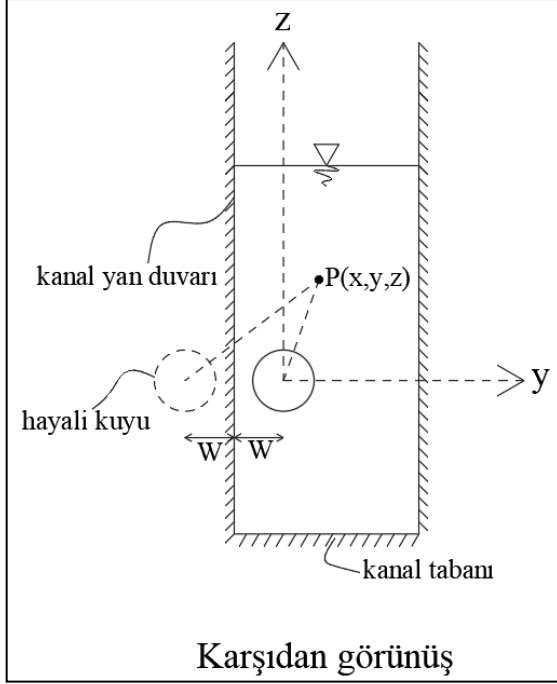
$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.45-a)$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y - r_0 \sin\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.45-b)$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z - (2H + r_0 \cos\theta_0)) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.45-c)$$

3.5.3. Sadece kanal yan duvarının engel etkisi

Şekil 3.14'te görülen dairesel su alma ağızının kanal yan duvarına mesafesi w olsun. Diğer sınırların (kanal tabanı ve su yüzeyine) mesafelerinin ise yeterince uzak olduğu kabul edilirse sadece hayali kuyudan kaynaklanan x , y ve z doğrultularındaki hız bileşenleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.14. Sadece kanal yan duvarı engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - (-2w + r_0 \sin\theta_0))^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}} \quad (3.46-a)$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y - (-2w + r_0 \sin\theta_0)) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - (-2w + r_0 \sin\theta_0))^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}} \quad (3.46-b)$$

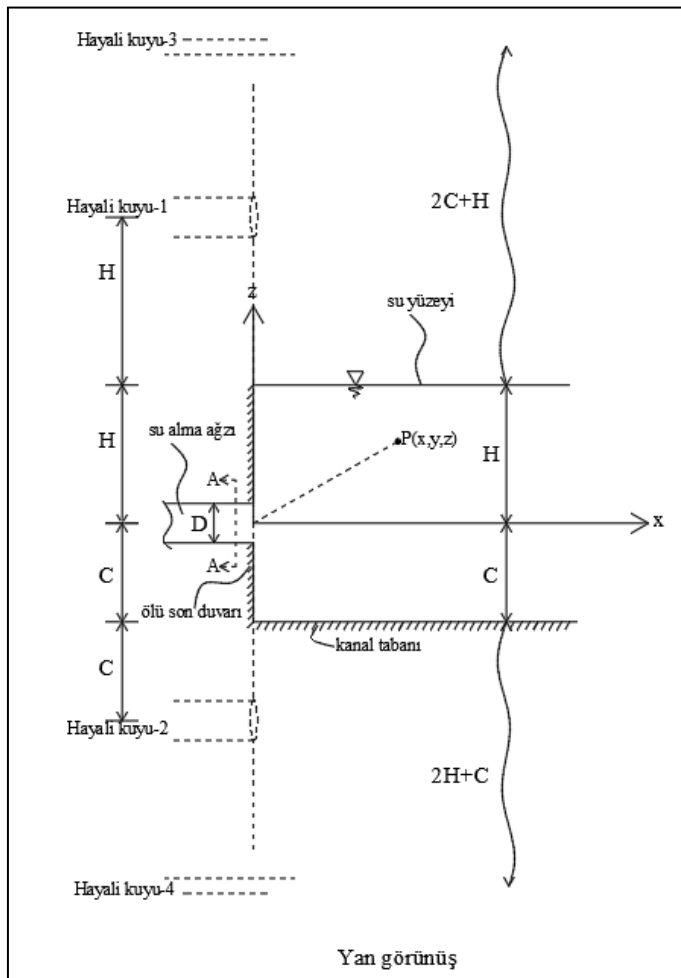
$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z - r_0 \cos\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - (-2w + r_0 \sin\theta_0))^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}} \quad (3.46-c)$$

3.5.4. Hem kanal tabanının hem su yüzeyinin engel etkisi

Şekil 3.15'te görülen dairesel su alma ağzının kanal tabanına mesafesi C ve su yüzeyine mesafesi H olsun. Diğer sınırın (kanal yan duvarına) mesafesinin ise yeterince uzak olduğu kabul edilsin. Hayali kuyular, dikkate alınan sınırlara göre oluşturulur. Burada birden fazla hayali kuyu durumu söz konusudur. Birden fazla hayali kuyu durumunda, hayali kuyuların hız bileşenleri üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olana kadar hayali kuyu alma işlemine devam edilir.

Birden fazla sınır etkileri durumunda öncelikle gerçek kuyudan kaynaklanan birinci hayali kuyular, sonrasında bu birinci hayali kuyulardan kaynaklanan ikinci hayali kuyular oluşturulur. Sözü geçen birinci hayali kuyular Şekil 3.15'te de görüldüğü gibi gerçek kuyudan su yüzeyine göre alınan hayali kuyu-1 ve gerçek kuyudan kanal tabana göre alınan hayali kuyu-2 şeklinde olur. Benzer biçimde sözü geçen ikinci hayali kuyular Şekil 3.15'te de görüldüğü gibi hayali kuyu-1'den kanal tabanına göre alınan hayali kuyu-4 ve hayali kuyu-2'den su yüzeyine göre alınan hayali kuyu-3 şeklinde olur.

İkinci hayali kuyulardan kaynaklanan x , y ve z doğrultularındaki hız bileşenleri aşağıda verilmiştir (Eş. 3.47). Hayali kuyu alma işlemleri sonunda hız bileşenlerini hesaplamak için birden fazla hayali kuyudan gelen ilgili hız bileşenleri ile gerçek kuyudan gelen ilgili hız bileşeni vektörel olarak toplanır.



Şekil 3.15. Hem kanal tabanı hem su yüzeyi engel etkisi için gerçek ve hayali su alma ağızları

Hayali kuyu 1'in tabana göre görüntüsü

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C - 2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.47-a)$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y - r_0 \sin\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C - 2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.47-b)$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z - (-2C - 2H + r_0 \cos\theta_0)) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C - 2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.47-c)$$

Hayali kuyu 2'nin su yüzeyine göre görüntüsü

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (2C + 2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.48-a)$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y - r_0 \sin\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (2C + 2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.48-b)$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z - (2C + 2H + r_0 \cos\theta_0)) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (2C + 2H + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}} \quad (3.48-c)$$

Gerek engel etkisiz gerekse engel etkili durumları içeren hız bileşenlerine ait eşitliklerde bulunan çift katlı integrallerin analitik olarak alınabilmesi mümkün değildir. Bu çalışmada farklı ağız şekilleri için bulunan hız bileşenlerine ait eşitliklerdeki çift katlı integraller MATLAB programı yardımıyla nümerik olarak alınmış ve eş hız eğrileri elde edilmiştir. MATLAB ortamında yazılan kodlar EKLER kısmında verilmiştir.

Tüm ağızlar için elde edilen potansiyel akım çözümleri, yorumlar ve grafikler 5. bölümde sunulmuştur.

4. NÜMERİK ÇALIŞMA

Teknolojideki hızlı gelişmeler ve sağladığı kolaylıklar sayesinde gelişen bilgisayar yazılım programları, birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu programlar sayesinde oldukça hızlı sonuçlar alınmaktadır. Laboratuvar kurulan modeller ile yapılacak olan deneyler, sayısal analiz yöntemleri ile kıyaslandığında oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir.

Sayısal analiz yöntemleri her ne kadar pratik olsa da, yapılan analizlerin ilgili konuyla daha önceden yapılmış deney verileriyle kontrol edilerek sonuçların doğruluğu gösterilmelidir. Bunun yanı sıra hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımlarının fiziksel laboratuvar modellerine alternatif bir çözüm olduğu ancak her koşulda kesin bir sonuç vermediği de unutulmamalıdır. Bu sebeple bu yazılımlar, doğruluğunun kanıtlanması için fiziksel modellerle kalibre edilmelidir.

Bu bölümde ilk olarak sayısal çalışma için kullanılan HAD yazılımı ile analiz ve inceleme yapan program tanıtılıp genel bilgileri verilmiştir. Sonrasında programa girilen fiziksel model tanıtılmıştır. İzleyen adımlarda ise sırasıyla çözüm ağı, başlangıç ve sınır koşulları, türbülans modelleri ve bunların seçimlerinden bahsedilmiştir. Ardından incelenen konu ile ilgili önceki çalışmalarla yapılan karşılaştırmalarla kurulan modelin doğrulaması yapılmış, son olarak da çözümü yapılan diğer geometrilerden söz edilmiştir.

4.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD Yazılımı) ile Analiz ve İnceleme

Hidrolik mühendisliğine ait birçok problemin çözümünde, analizlerin yapılmasında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD veya CFD - Computational Fluid Dynamics) yazılımları kullanılmaktadır. Bu programlar aracılığı ile genel olarak akışkanın hareketini tarif eden süreklilik, momentum ve enerji denklemleri çözülerek hız, basınç, sıcaklık gibi birçok akım parametresi elde edilmektedir.

Hidrolik ile ilgili problemlerin büyük bir kısmında serbest yüzeyler bulunmaktadır. Bu çalışmada, dikdörtgen bir kanalın ölü son duvarından su alan su alma ağızlarının membasındaki hız dağılımını incelemek için özellikle serbest yüzey akımlarının modellenmesi için geliştirilmiş bir HAD yazılımı olan FLOW-3D programı kullanılmıştır. Bu program, en zorlu serbest yüzey akış problemlerini çözebilen doğru, hızlı, kanıtlanmış,

güçlü bir HAD yazılımıdır. HAD yazılımı ile analiz ve inceleme yaparken programın girdileri ve çözüm yöntemleri ne kadar gerçeğe yakın olacak şekilde belirlenirse elde edilen sonuçlar da o kadar gerçeğe yakın olacaktır.

4.1.1. Kullanılan HAD yazılımı (FLOW-3D) ile ilgili genel bilgiler

Flow-3D, akışkanın dinamik hareketinin hesabını sayısal olarak çözümleyen ve birçok alanda kullanılabilecek şekilde tasarlanmış bir yazılımdır. Bu program sonlu hacim yöntemini kullanarak akışkanın üç boyutlu hareketini en iyi temsil eden süreklilik denklemleri ile beraber Navier-Stokes denklemlerini üç boyutlu, iki boyutlu ya da tek boyutlu olarak çözebilmektedir. Üç boyutlu kütle, momentum ve enerji korunum eşitliklerini çözmesinin yanı sıra sediment taşınması, katı cisimlerin hareket ettirilmesi, gözenekli ortamdaki akımlar vb. için çözümler de yapabilir.

Programın özellikleri arasında kullanımı kolay ara yüzü sayesinde hızlı bir şekilde model oluşturma, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) üzerinden veriler alınabilmesi, kolay çözüm ağı kurma yöntemi sayesinde hızlı model hazırlanması ve hareketli nesnelerin kolaylıkla modellenmesi yer almaktadır.

Flow3D yazılımı, LES (Large Eddy Simulation), $k-\epsilon$, $k-w$, RNG (Renormalized Group) ve Prandtl karışım uzunluğu gibi farklı türbülans modellerini çözebilir. Oluşturulacak geometriye en uygun olan ağ türü kullanılabilir. Bu, kullanıcıya rahat bir çalışma alanı ve oluşturulan geometri için basit bir yerleşim sağlar. Bu çalışmada dikdörtgen kanala uygun olan dikdörtgen çözüm ağları kullanılmıştır.

Hesaplamalar, dikdörtgen geometriye sahip ve üniform çözüm ağları ile yapılmaktadır. Kontrol hacmi olarak da ifade edilen bu hücrelerin her birinin merkezinde akışkana ait viskozite, yoğunluk, basınç gibi skaler büyüklükler yer almaktadır. Hücre yüzeyinde ise koordinatlara bağlı hız değerleri hesaba katılmaktadır.

Flow 3D'nin kullandığı Akışkan Hacmi (The Volume of Fluid – VOF) yöntemi, keskin arayüzler için güçlü bir serbest yüzey takip yöntemidir ve VOF, hücrelerin tamamen sıvı ile dolu, kısmen dolu veya boş olup olmadığını belirlemek için kullanılır (Hirt ve Nicholas, 1981). Serbest yüzeyli akımların simülasyonunda doğruluk oranı yüksektir.

Programda kullanılan diferansiyel denklemler (x, y, z) kartezyen koordinatlar kullanılarak yazılabilmektedir. Tüm denklemlerin formülasyonu karmaşık geometriye sahip bölgelerin modellenmesini sağlayan ve Alan/Hacim Oranları Engel Gösterimi FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) yöntemi olarak adlandırılan bir yöntem ile yapılmaktadır. Alan ve hacim oranları genellikle zamandan bağımsızdır.

4.1.2. HAD yazılımının (FLOW-3D) çözdüğü temel denklemler

Flow 3D yazılımı zamana bağlı olarak değişen üç boyutlu akım problemlerini çözmek için gelişmiş sayısal teknikleri kullanmaktadır. Akışkan hareketi; doğrusal olmayan ve zamana bağlı ikinci mertebeden diferansiyel eşitlikler ile tanımlanır. Bu eşitlikleri çözmek için akışkan hareket denklemleri kullanılmalıdır. Bu denklemlerin sayısal analizleri, cebirsel ifadelerle benzeyen çeşitli denklemler içermektedir. Hesaplamaların gerçekleştirildiği hücreler; i, j ve k sırasıyla x, y ve z eksenleri doğrultusundaki indisleri simgelemek üzere tanımlanmaktadır. Bu süreçte simülasyon adı verilir.

Yazılım tarafından çözülen 3 boyutlu sıkıştırılmaz akışa ait kütle (Eş. 4.1) ve momentum (Eş. 4.2a-c) korunum denklemleri aşağıda verilmiştir (Aghajani ve diğerleri, 2020).

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(V_x A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(V_y A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(V_z A_z) = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(V_x A_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y A_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z A_z \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad (4.2-a)$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(V_x A_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y A_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z A_z \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (4.2-b)$$

$$\frac{\partial V_z}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(V_x A_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y A_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z A_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4.2-c)$$

Bu eşitliklerde, ρ = akışkanın yoğunluğunu, V_x, V_y, V_z = x, y, z yönlerindeki hız bileşenlerini, p = basıncı, R_{SOR} = kaynak terimini (source density term), A_x, A_y, A_z = x, y, z yönlerindeki akışkana ait alan oranlarını, t = zamanı, G_x, G_y, G_z = x, y, z yönlerindeki

kütlesel ivmeleri, $f_x, f_y, f_z = x, y, z$ yönlerindeki viskoz ivme terimlerini gösterir. V_F terimi ise akışkan hacmi ile alakalı olup Eş. 4.3'de verilmiştir.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(\frac{\partial}{\partial x} (F A_x V_x) + \frac{\partial}{\partial y} (F A_y V_y) + \frac{\partial}{\partial z} (F A_z V_z) \right) = 0 \quad (4.3)$$

Eş. 4.3'de F , bir hesaplama hücresindeki sıvının hakim oranını temsil eder ve 0 ile 1 arasında değer alır.

4.1.3. FLOW-3D'de model kurulumu için işlem adımları

Bir hidrolik problemin sayısal modellenmesinde çözüm bulunması gereken önemli iki unsurdan söz edilebilir. Bunlardan biri problemde mevcut katı sınırları yazılıma tanıtmak, diğeri ise serbest su seviyesinin belirlenmesidir. Flow-3D yazılımının bu sorunu çözmek için kullandığı çalışma prensipleri VOF ve FAVOR'dır.

Akışkan Hacmi VOF (The Volume of Fluid) yöntemi

Flow 3D'nin kullandığı VOF yöntemi üç ana bileşenden oluşmaktadır: akışkan hacmi fonksiyonunun tanımı, VOF taşınım denklemini çözme yöntemi ve serbest yüzeyde sınır şartlarının oluşturulması.

VOF yöntemi, su ile hava arakesitindeki serbest yüzeyleri belirlemektedir. Her bir hücredeki sıvı miktarı bilinirse, serbest su yüzeylerini bulmak ve yüzey eğimlerini ve yüzey eğriliklerini belirlemek mümkündür. VOF yöntemi ile serbest yüzeyin yeri belirlenir, akışkan ile hava arasında, sabit basınç ve sıfır kayma gerilmesine sahip keskin bir ara yüzey tanımlanır. Eğimli serbest yüzeyler, komşu hücrelerdeki sıvı hacmi oranları kullanılarak hesaplanır. Hücre içerisinde bulunan akışkan miktarına bağlı olarak tam dolu veya kısmi dolu olması durumunu ifade eder ve buna bağlı olarak 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Bunu bilerek, komşu hücrelerdeki hacim oranları daha sonra belirli bir hücre içindeki sıvının konumunu (eğimini ve eğriliğini) bulmak için kullanılabilir. Son olarak, serbest su yüzeylerinin zamana göre değişimi hesaplanır (Flow3D kullanım kılavuzu).

Alan/Hacim Oranları Engel Gösterimi FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) yöntemi

FAVOR, dikdörtgen sonlu elemanın dolu kısmını boş kısmından ayıran bir engel tanımlamak suretiyle ve elde edilen hacimlerin oranı aracılığıyla hücreye ait bilgilerin taşınmasıdır. Böylece, FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) tekniği, dikdörtgen elemanların sadeliğini korurken, her bir hacim elemanı içindeki ortalama akış miktarlarının kullanımı ile tutarlı bir seviyede karmaşık geometrik şekilleri temsil eder. Karmaşık geometrik bölgelerin modellenmesi için pratik olması nedeniyle FAVOR yöntemi tercih edilmektedir (Flow3D kullanım kılavuzu).

Flow3D’de dört ana sekme sayesinde dikdörtgen bir kanalın ölü son duvarından su alan farklı enkesitteki su alma ağızlarının modelleri tasarlanmıştır. Bu sekmeler, özellikleri ve model için kullanılan ayarlar aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

Simülasyon yöneticisi

Simülasyonları düzenlemek, çalıştırmak ve çalıştırılan simülasyonlarla ilgili ilerleme hakkında bilgileri göstermek için kullanılan bir sekmedir. Tüm model ayarlandıktan sonra ön analiz (preprocess simulation) özelliği sayesinde uzun sürebilecek simülasyonların kısa sürede sistemdeki uyarılara bakarak hata verip vermediği önceden kontrol edilebilir. Bu hatalar giderildikten sonra simülasyon başlatılmaya hazırdır. Zamanın ilerleme oranı, zamana bağlı kanaldaki debi değişimi veya kanaldaki su yüzey alanı gibi simülasyonlarla ilgili grafikler ihtiyaç duyulduğunda burada incelenebilir.

Model kurulumu

Simülasyon yöneticisinde o an seçili simülasyon için giriş parametrelerinin tanımlandığı yerdir. Akım alanı tasarlanır, çözüm ağı kurulur, fiziksel ve sayısal parametreler girilir. Model kurulum sekmesinde altı alt sekme vardır. Bunlar; genel ayarlar, fizik modelleri, akışkanlar, geometri ve ağ oluşturma, çıktı seçenekleri ve sayısallardır.

Genel ayarlar

Simülasyonun bitiş süresi, dikkate alınacak sıvı sayısı, akışkanın sıkıştırılabilirliği, arayüz tipi, simülasyonda kullanılacak birim sistemi ve sıcaklık birim sistemi vb. gibi yüksek seviye simülasyon ayarlarının belirlendiği yerdir. Bu çalışma için, akışkan sayısı bir, serbest yüzey veya keskin arayüz, sıkıştırılamaz akışkan, 60 saniye simülasyon süresi ve SI birim sistemi seçilmiştir. Simülasyon süresi deneme yanılma yapılarak çözümün hidrolikçe stabil olduğu duruma (yani ağızların membasındaki hız değerlerinin zamanla değişmediği) ulaşıldığı zaman süresi olarak belirlenmiştir.

Fizik modeller

İlgili fiziksel mekanizmalar (yani ek yönetici denklemleri veya yönetici denklemlerindeki terimler) bu sekmede tanımlanır. Burada hava girişi, yerçekimi, sediment, kavitasyon, ısı transferi, viskozite ve türbülans, hareketli nesneler gibi fizikle ilgili birçok seçenek bulunmaktadır. Bu çalışmada, yerçekimi bölümünde yerçekimi ivmesi z bileşeni – 9.81 m/s^2 ve viskozite ile türbülans bölümünde viskoz akım, $k-\epsilon$ veya LES türbülans modeli ve duvar kayma sınır koşulu olarak da kaymaz (no slip) seçenekleri etkinleştirilmiştir.

Akışkanlar

Akışkanları ve akışkanların gerekli özellikleri bu sekmede ayarlanır. Bu çalışma için akışkan olarak 20°C’de su seçilmiştir.

Geometri ve ağ oluşturma

Geometri ve ağ oluşturmak için gerekli yardımcı sekmeler mevcuttur. Bunun yanı sıra başlangıç ve sınır koşulları vb. gibi ayarlar da bu sekmede yer alır. Geometri için programın çizim seçenekleri kullanılabilir veya STL uzantılı çalıştırılabilir bir çizim dosyası içe aktarılabilir. Flow-3D, geometriye uyan bir ağ oluşturmaya olanak sağlar.

Bu çalışma için dikdörtgen bir kanalın ölü son duvarından su alan su alma ağızlarının modelinin, literatürde var olan deneysel çalışmalara uygun olarak, geometrisi, çözüm ağı, başlangıç ve sınır koşulları tanımlanmıştır. Ayrıntılı olarak Bölüm 4.2’de açıklanmıştır.

Çıktı

Sonuçlar dosyasında simülasyon sonrasında alınması istenilen veri aralıklarında istenilen veri türlerinin yazıldığı yeri kontrol eden seçenekler bu sekmede ayarlanır. Seçilen veri aralığı, çözümleri analiz ederken zaman çizelgesi adımlarının boyutunu tanımlar. Akışkan hızı, hidrolik veriler, veri alma sıklığı, kaydetme süreleri bu seçenekten işaretlenmektedir. Bu çalışma için seçilen veri aralığı 1 saniye olarak girilmiş ve zaman, debi, akım hızları ve 2 boyutta / 3 boyutta bilgiler seçenekleri işaretlenmiştir.

Sayısallar (Numerics)

Bu sekme, viskoz gerilim ve basınç çözücü seçenekleri, momentum ilerlemesi ve sıvı akışı çözücü seçenekleri vb. açık/kapalı çözücü seçenekleri ile ilgili ayarları içerir. Varsayılan sayısal seçenekler çoğu simülasyon için iyi çalışır. Bu nedenle varsayılan seçenekler istisnai bir neden yoksa değiştirilmemelidir. Bu çalışma için varsayılan sayısal seçenekler işaretli bırakılmıştır.

Analiz

Simülasyonu tamamlanan modellerin sonuçlarını görselleştirmenin birçok yolu bulunur. Temel olarak sonuçları bir metin olarak veya 1 Boyutlu, 2B ve 3B grafiklerde analiz etmek mümkündür. Verilerin amacına göre seçenekler arasından eş yüzey ve renk değişkenleri seçilir. Analiz için herhangi bir zaman aralığı ve sistemin herhangi bir parçası seçilebilir.

Bu analiz seçenekleri aşağıda madde madde sıralanmıştır.

- Özel (custom), grafikleri özelleştirme bölümündeki çıktı kodlarını kullanarak çıktı grafiklerini manuel olarak değiştirmek için kullanılabilir.
- Sonda (probe), zamana göre birbirinden ayrı hücreler, sınırlar, bileşenler, etki alanı genelindeki değişkenler ve zaman için grafik ve metin çıktılarını görüntüler.
- 1D (1 Boyut), hücre verileri x, y veya z yönündeki hücreler boyunca görüntülenebilir. Çizim sınırları hem yer hem de zaman için de uygulanabilir.
- 2D (2 Boyut), hücre verileri x-y, y-z veya x-z düzlemlerinde görüntülenebilir. Çizim sınırları hem yer hem de zaman için de uygulanabilir. Hız vektörleri ve parçacıklar eklenebilir.

- 3D (3 Boyut), hem sıvı hem de katının yüzey grafikleri oluşturulabilir ve hücre verileriyle renklendirilebilir. Hız vektörleri, parçacıklar (varsa) ve akım çizgileri gibi ek bilgiler eklenebilir. Çizim sınırları hem yer hem de zaman için de uygulanabilir. Animasyon oluşturulabilir.
- Yazı çıktısı (textoutput), seçilen verilerin istenilen simülasyon süre aralığı için metin dosyalarını yazdırır.
- Nötr Dosya (neutral file), seçilen verilerin istenilen simülasyon süre aralığı için ayrı bir metin dosyasında tanımlanan belirli noktalarda (enterpolasyonlu veya hücre merkezli) çıkarılabilir.
- FSI TSE, sonlu elemanlar sıvı / katı etkileşimi ve ısı gerilme evrimi fizik paketlerinden elde edilen çıktıdır.

Görüntü (Display)

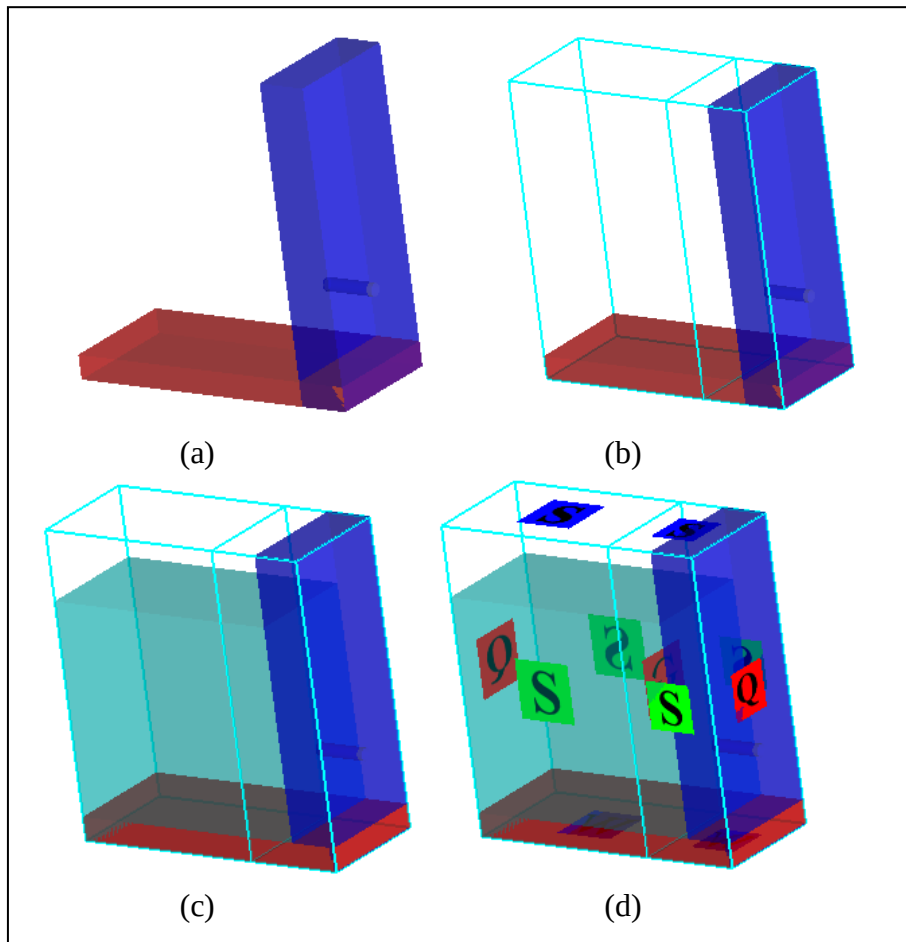
Analiz sekmesinde seçilen kriterlere göre görsel sonuçların görüntülendiği ekrandır. Ekranın anlık görüntüsünü almak veya bir video yapmak mümkündür.

4.2. Fiziksel Model Çalışması

Bu çalışmada dikdörtgen bir kanalda ölü son duvarından su alan su alma ağzının membasındaki hız dağılımını incelemek için ağzın bulunduğu sınırlı bir hacim ele alınmıştır. Bu model konuyla alakalı literatürde, deney verileri bulunan çalışmalarda modellere uyumlu olarak tasarlanmıştır.

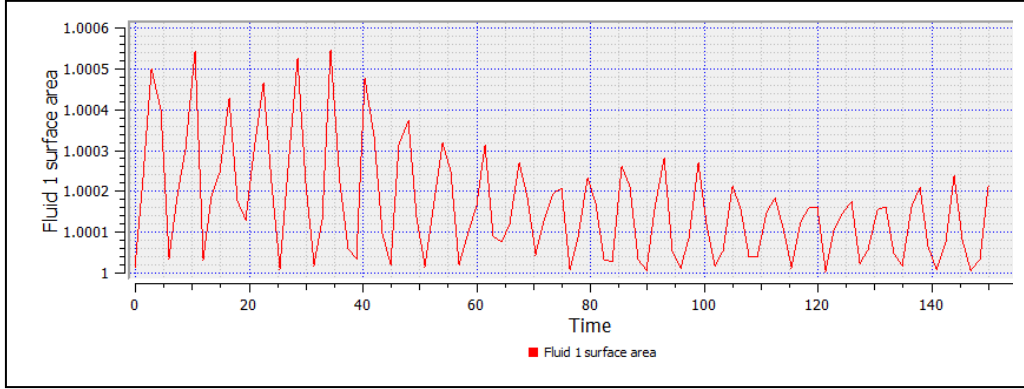
Analizlerin modellenmesi, gerçekleştirildiği koşullar ve program çıktılarına bu bölümde yer verilmiştir. Öncelikle dairesel su alma ağzı ile optimum model boyutları için geometrik model kurulumu Bölüm 4.2.1’de, çözüm ağı boyutları için çözüm ağı ve en uygun seçimi Bölüm 4.2.2’de, başlangıç koşulu ve sınır koşulları Bölüm 4.2.3’te son olarak da farklı türbülans modelleri ve en uygun seçimi Bölüm 4.2.4’te açıklanmıştır. Ayrıca daire kesiti ile yapılan deneylerin sayısal çözümlerle kıyaslanması Bölüm 4.2.5’te, engel etkisiz durum için daire kesitine sahip su alma ağzına ait Flow3D görüntüleri 4.2.6’da sunulmuştur. Denemeler sonunda elverişli bulunan model ve buna bağlı koşullar kullanılarak çalışmadaki diğer su alma ağızlarına ait analizler gerçekleştirilmiştir.

Sayısal analiz için sırasıyla yapılan işlemlerden kısaca bahsedilirse; denemeleri yapılacak olan fiziksel model ile ilgili geometri sisteme girilmiş (Şekil 4.1-a), akış hacminin sonlu hacimlere bölünmesi sağlanarak kartezyen sistemde çözüm ağı oluşturulmuş (Şekil 4.1-b), daha sonra dikkate alınan akım bölgesinin çözüm ağı sınırlarına başlangıç koşulu (Şekil 4.1-c) ve sınır koşulları (Şekil 4.1-d) belirlenmiş, akım koşulları ve özelliklerini tanımlayan parametrelerin sayısal değerleri girilmiştir. Son olarak çözüm yönteminin, türbülans modelinin ve yakınsama kriterinin belirlenmesiyle sayısal denemelere başlanmıştır.



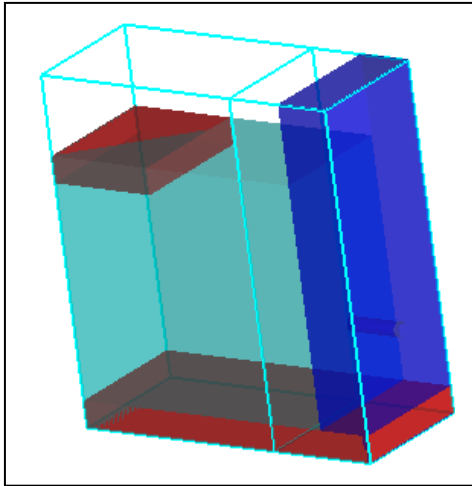
Şekil 4.1. Dikdörtgen bir kanaldan su alan dairesel bir su alma ağı; a) Geometriler, b) Çözüm ağı, c) Başlangıç koşulu, d) Sınır koşulları

Analizden sonra, sonuçlar için rezervuarda sabit hacimli, minimum çalkantılı bir durum beklenmiştir. Nerdeyse sabit hacimli rezervuar elde edilmesine karşın çalkantılı bir durum söz konusu olduğu için önce çözüm süresi uzatılmıştır. Ama analiz sonuçlarını almak çok uzun sürmüştür (Şekil 4.2).



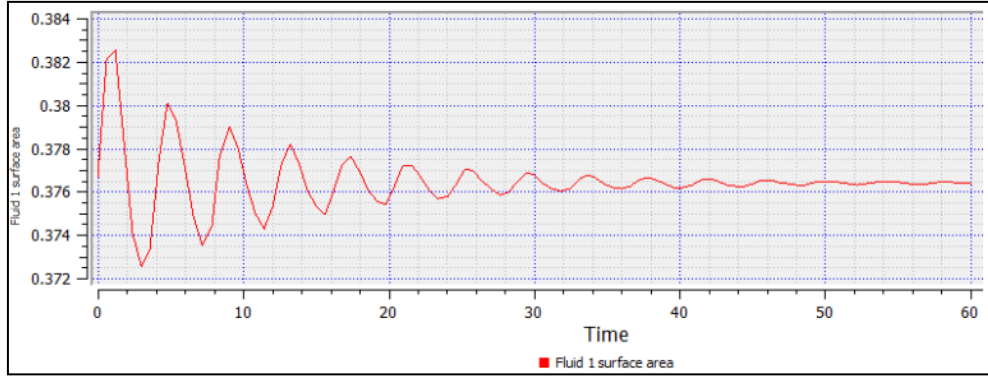
Şekil 4.2. Dikdörtgen bir kanaldan su alan su alma ağızı durumunda zamanla serbest su yüzey alanındaki değişim

Burada istenilen kısa sürelerde sonuçlara ulaşmak olduğu için su yüzeyine çalkantıyı önleyici engel oluşturacak bir katı tanımlanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Dikdörtgen bir kanaldan su alan su alma ağızının ve çalkantı önleyici katının görünümü

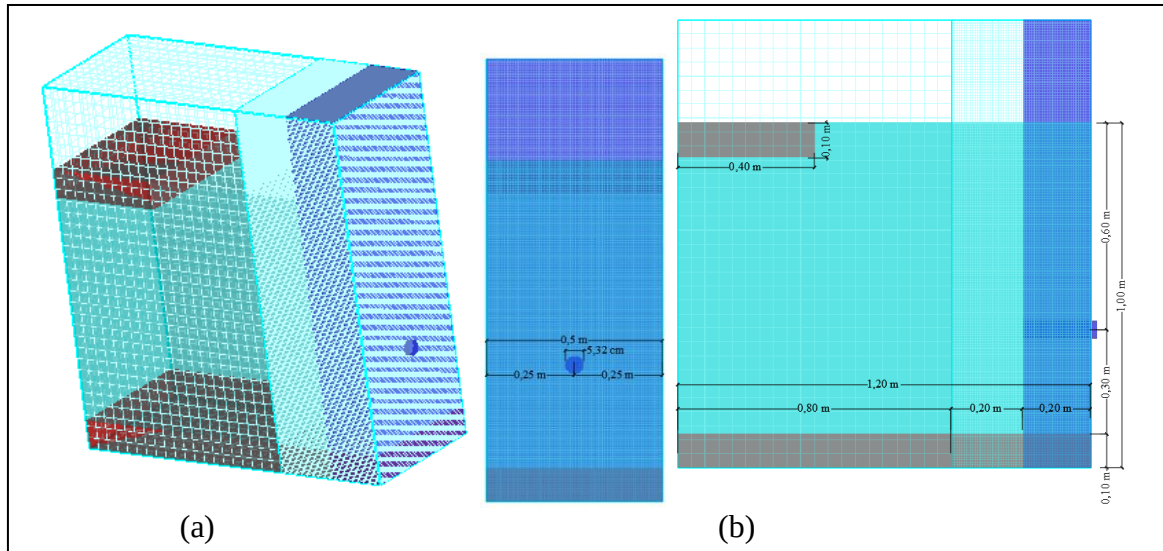
Bu sayede minimum çalkantı çok kısa bir sürede görülmüştür (Şekil 4.4). Hem rezervuar hacmi değişmeyecek hem de minimum çalkantılı bir yüzey olacak optimum model boyutları bulunmuştur. Şekil 4.5-b’de gösterilen model boyutlarında karşıdan ve yandan görünüşten su derinliği, katı cisimlerin uzunlukları, su alma ağızının membasını oluşturan rezervuarın farklı çözüm ağılarıyla incelendiği uzunlukları ve ağızın çapı gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Dikdörtgen bir kanaldan su alan dairesel bir su alma ağzı akımı için çalkantı önleyici katı eklendikten sonraki zamanla su yüzey alanındaki değişim

Eklenen katı engel çözüm süresini oldukça kısaltıp kısa sürede çalkantıyı minimuma indirmiştir. Bu sayede daha kısa sürede daha çok model analiz edip alınacak sonuçlara ulaşılmıştır.

En sağlıklı çözümleri alabilmek için 2 çözüm ağı kullanılmıştır (Şekil 4.5-a). Biri ilgilenilen ağzın yakın membasında, diğeri kanalın kalan kısmında oluşturulmuştur. Bundan sonra da optimum çözüm ağı seçimi yapılmıştır. En makul sonuçları verecek çözüm ağı aralıkları denenmiştir.



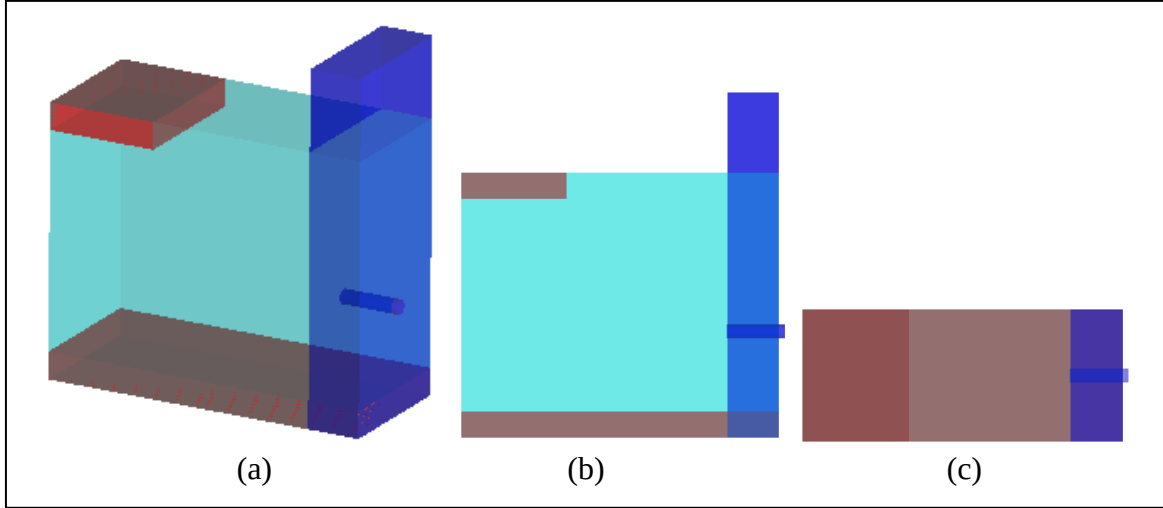
Şekil 4.5. Dikdörtgen bir kanaldan su alan su alma ağzı; a) Kullanılan çözüm ağları, b) Model boyutları

Bu işlemlerin devamında dairesel ağza ait elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel çalışma sonuçlarıyla kıyaslanarak kalibre edilmiştir. Çalışmanın devamında belirlenen koşullar ile dairesel kesit alanı ile aynı kesit alanına sahip farklı ağız geometrileri; kare, en/yükseklik oranı 4, 2, 1/4, 1/2 olan dikdörtgenler, eşkenar üçgen, 180° döndürülmüş eşkenar üçgen, eşkenar dörtgen, 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen, 45° döndürülmüş kare; incelenmiştir. Bu farklı geometriler, daireyle ve birbirleriyle boyutsuz grafikler oluşturulup kıyaslanarak yorumlanmıştır. Grafikler için farklı enterpolasyon metodlarına sahip bir grafik programı kullanılmıştır. Kısaca yukarıda anlatılan tüm bu işlemler alt bölümlerde ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

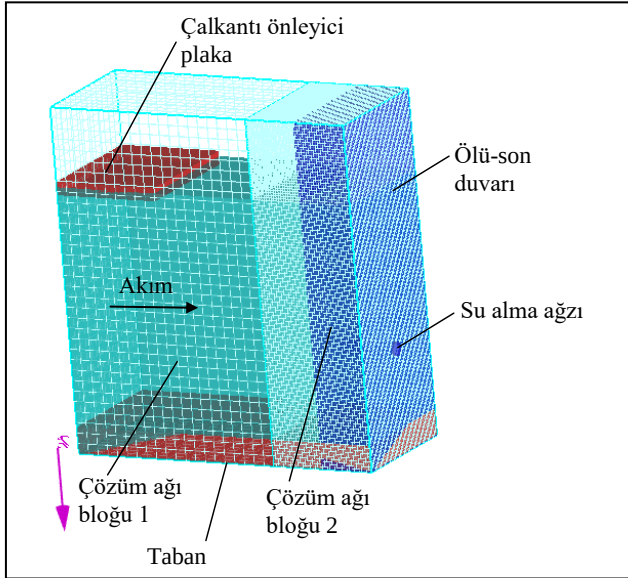
4.2.1. Geometrik model kurulumu

Bu çalışmada öncelikle literatürde dairesel ağza ait mevcut deneysel verilerin modelleri sayısal olarak FLOW3D programında kurulmuştur. Dairesel ağza ait mevcut deneysel veriler bu çalışmadan elde edilen nümerik verilerle karşılaştırılmıştır. Modelin doğruluğu gösterildikten sonra diğer ağız geometrilerin membasındaki hız profilleri bulunmuştur.

Sistemin katı sınır geometrisi, programın çizim modülü tarafından oluşturulmuştur. Dikdörtgen prizma şekillerinde dört katı bileşen vardır. Bunlar kanalın tabanı, ölü son duvarı, çalkantı önleyici plaka ve su alma ağzıdır (Şekil 4.7). Çalkantı önleyici plaka, sisteme su girerken dalgalanmaları önlemek için eklenmiştir. Su alma ağzı ise giriş borusunu oluşturmak için oluşturulmuştur. Su alma ağzı bir silindir olarak oluşturulduktan sonra bileşen tipi "delik" olarak ayarlanmıştır. Silindir şeklindeki bu delik bileşeni, çıkış yönündeki dikdörtgen prizmaya eklendiğinde bir boru elde edilmiştir. Daha sonra çözüm ağları oluşturulup boyutları ayarlanmıştır. Tanımlanan farklı bölgelerdeki çözüm ağ boyutları azaltılabilir ya da arttırılabilir. Çözüm ağı içeren fiziksel model Şekil 4.7'de verilmiştir. Kartezyen ağda iki çözüm ağı bloğu kullanılmıştır. Ağza yakın olan ağ bloğu daha küçük ağ aralıklarına sahiptir. Herhangi bir katı bileşen için yüzey pürüzlülüğü tanımlanmadığından çözücü tarafından pürüzsüz kabul edilir. Şekil 4.6'da, bu çalışmada kullanılan modelin temel tasarımı gösterilmiştir.



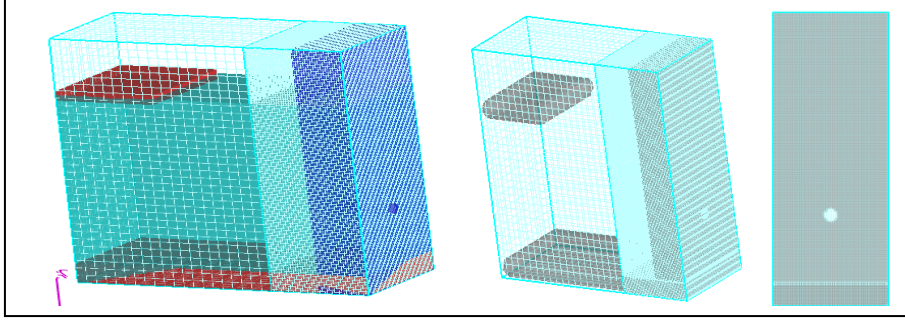
Şekil 4.6. Fiziksel model: a) 3 boyutlu görünüş b) Yan görünüş c) Üst görünüş



Şekil 4.7. Temel fiziksel model bileşenleri

Suyun sisteme girip su alma ağzından çıktığı akım yönü $+x$ yönü olarak 1 m uzunluğunda alınmıştır. Akım sınır etkilerinin olmadığı analizler için su alma ağzının merkezi ölü son duvarının y yönünde orta noktasında ve sınırlardan uzakta olacak şekilde belirlenmiştir. Yan duvar açıklık aralığı -25 cm ile $+25$ cm arasındadır. Tabandan su yüzeyine olan derinliğin yönü $+z$ olarak alınmıştır. Rezervuardaki su derinliği 1 m alınmıştır. Su alma ağzının mesafesi tabana 40 cm su yüzeyine 60 cm olarak belirlenmiştir. Su kotu sabit iken su alma ağzının yan duvarlara ve tabana olan mesafesinin değeri duruma göre değiştirilerek incelenmiştir.

Oluşturulan fiziksel model geometrisinin ayrıntılarına FAVOR yardımıyla bakılmıştır (Şekil 4.8). FAVOR'ın programın parçaları oransal olarak katı bölgeye ve sıvı bölgeye bölmesini sağlayan bir teknik olduğu ve ağ boyutunun programın tüm geometrileri doğru bir şekilde algılamasını sağlayıp sağlamadığını test etmeye yardımcı olduğu açıklanmıştır.



Şekil 4.8. FLOW-3D fiziksel modeli ve FAVOR görünümü

4.2.2. Çözüm ağı ve en uygun seçimi

Çözüm ağının oluşturulması, modellenecek bölgeyi bir dizi küçük kontrol hacmi olarak alt bölümlere ayırma işlemidir. Bu çözüm ağları birbirine bağlı birçok hücrelerden oluşmaktadır. Kütle, momentum ve enerji korunum yasalarına yaklaşımları temsil eden sayısal algoritmalar, daha sonra her bir kontrol hacminde basınç, sıcaklık, yoğunluk, hız gibi değişkenleri hesaplamak için kullanılır.

Bir çözüm ağı sistemi belirlenirken; modelleme kolaylığı, bellek boyutu, sayısal doğruluk, karmaşık geometrilere ve yüksek veya düşük çözünürlüklü lokal bölgelere uyumu göz önüne alınmalıdır.

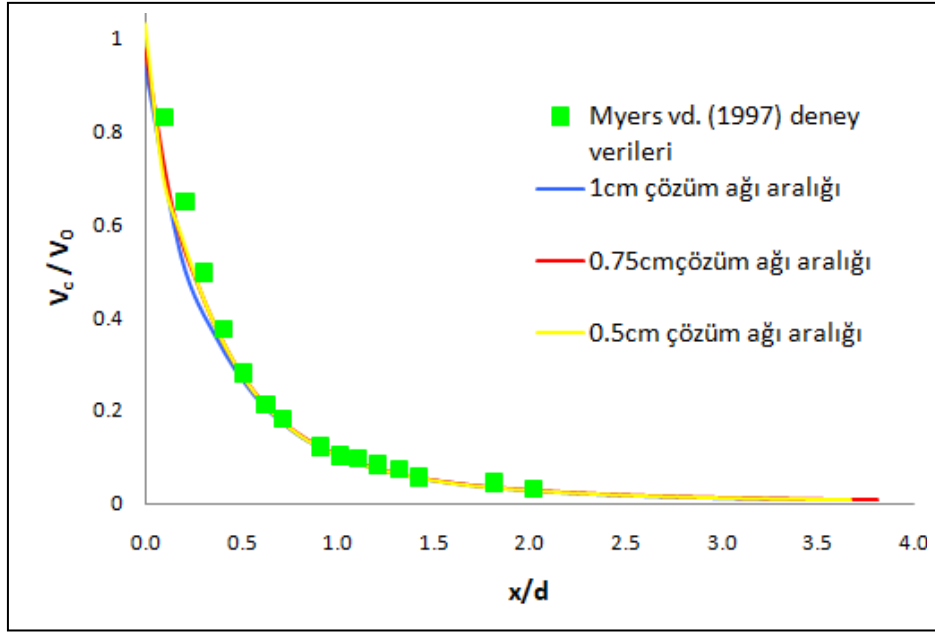
Çözüm ağının kalitesi, sonuçların doğruluğunu etkilemektedir. Çözüm ağı boyutları küçüldükçe daha hassas ve gerçeğe yaklaşan sonuçlar elde edilirken işlem süresi artmaktadır. Bunun yanı sıra çözüm ağı boyutları büyüdükçe oluşturulan model, geometrinin ayrıntılarını dikkate almaz. Doğru sonuç elde etmek çözüm ağının hassaslığına bağlıdır. Hassaslık derecesi arttıkça çözüm süresi de doğru orantılı olarak artmaktadır. Her bir çözüm ağının boyutunu azaltmak sayısal analizin boyutunu artırarak iterasyon sayısını ve çözüm süresini artıracaktır. Çözüm ağı boyutları, çözüm süresini gereksiz uzatacak kadar küçük ve gerçek sonuçtan uzaklaşacak kadar büyük olmamalıdır (Flow-3D, kullanım kılavuzu).

Dikdörtgen olarak oluşturulan çözüm ağları, oluşturulmasının kolaylığı nedeniyle programın kullanımını kolaylaştırmaktadır. Hesap için oluşturulan hücreler ardışık üç indis kullanılarak numaralandırılmıştır (x yönünde i; y yönünde j ve z yönünde k). Bu yöntem ile çözüm alanı içerisindeki bir noktanın koordinatları i, j, k şeklinde belirlenen bir adres ile tanımlanabilmektedir. Üniform olarak oluşturulan bu ağlar, orijinal fiziksel modelden uzaklaşmadan, şeffaf ve doğruluk oranı yüksek sonuçlar vermesi ve ayrıca basit olarak oluşturulabilmesi nedeniyle programın kullanımında ek bir avantaj sağlamaktadır (Flow-3D, kullanım kılavuzu).

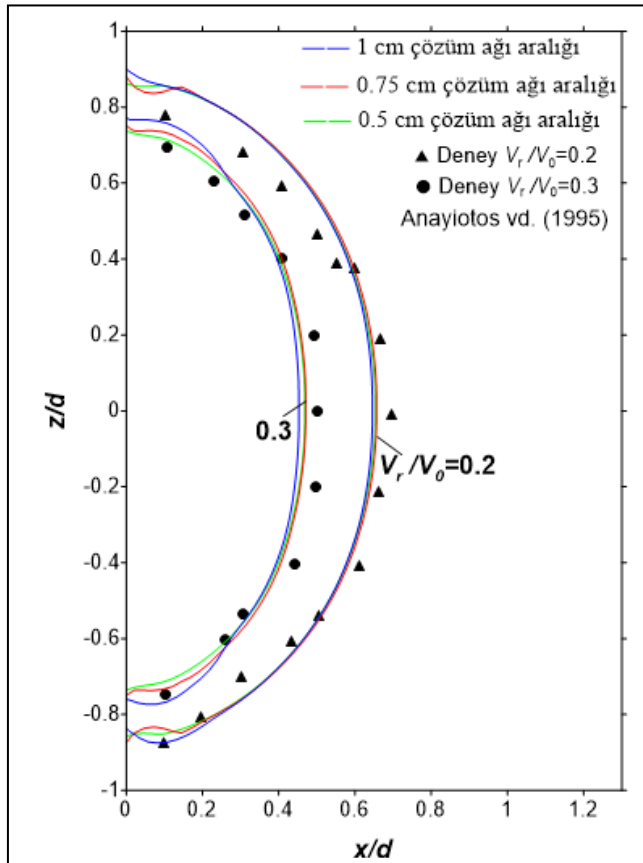
Bu çalışmadaki model için uygun çözüm ağı boyutu, dairesel ağız için deney verilerine yakın sonuçlar görülene kadar simülasyonlara devam edilmiştir. Geometrinin çözülebilmesi için toplamda 2 adet çözüm ağı bloğu kullanılmıştır. Akımın kanala girdiği su alma ağızına uzak alan için 4 cm çözüm ağı kullanılırken (bu kısımdaki çözüm ağı büyüklüğünün sonuçlar üzerinde çok büyük bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir) su alma ağızının yakın membası için daha küçük çözüm ağı boyutları tanımlanarak en uygun çözüm ağı seçimi yapılmıştır. Çözüm ağı boyutunda öncelik geometriyi yeterli ölçülerde göstermesidir.

Flow3D programında model oluşturulduktan sonra en uygun çözüm ağı tespiti yapılmıştır. Ağza yakın olan ağı bloğunda 1 cm, 0,75 cm ve 0,5 cm boyutlarında kübik ağlar oluşturulmuştur. Dairesel ağızın literatürde bulunan deneysel verileri ile programda çözülen bileşke hız vektörlerinin değerleri, ağı boyutunun çözüm üzerindeki etkisini göstermek için karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9 ve 4.10'da görüldüğü gibi 0,5 cm ve 0,75 cm çözüm ağları için hız değerleri birbirine çok yakındır ve her ikisi de hemen hemen aynı sonuçları vermiştir. Daha küçük aralığa sahip olan çözüm ağı daha uzun simülasyon süresi aldığından ve daha büyük çıktı dosyalarıyla sonuçlandığından, daha kaba çözüm ağı boyutunu kullanmak daha makul olmuştur. Bu nedenle daha hızlı sonuç almak için 0,75 cm kübik çözüm ağı seçilmiştir.

0,5 cm çözüm ağına göre daha kaba olan çözüm ağı 0,75 cm için, kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle ağı daha fazla iyileştirmeye, zaman ve bilgisayar kısıtlamaları nedeniyle zaten var olan zorluğu artırmaya gerek kalmamıştır.



Şekil 4.9. Dairesel ağız için eksenel hızın farklı çözüm ağı aralıklarında karşılaştırılması



Şekil 4.10. Dairesel ağız için x-z düzlemindeki eş hız eğrilerinin farklı çözüm ağı aralıklarında karşılaştırılması

Şekil 4.9’da V_c bileşke eksenel hızı, V_0 ağzın kesit ortalama hızı, x eksenel mesafeyi ve d dairesel ağız çapını temsil etmektedir. Şekil 4.10’da V_r incelenen x - z düzlemindeki ($y=0$) bileşke hızı, x ve z sırasıyla ağızdan olan yatay ve düşey mesafeyi göstermektedir.

Bu çalışmada hesap alanının x -yönündeki (akım yönündeki) uzunluğu 1,0 metre, y -yönündeki uzunluğu 0,5 metre ve z - yönündeki (düşey yöndeki) uzunluğu 1,2 metre alınmıştır.

4.2.3. Başlangıç koşulu ve sınır koşulları

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları sayesinde birçok geometrik modeli birçok sınır şartlarına ve tasarım seçeneklerine göre kolayca tasarlamak mümkündür. Ancak bilinmelidir ki, sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar; kurulan denklemler, kullanılan parametreler ve sınır şartlarının doğruluğu ölçüsünde doğru sonuçlar vermektedir. Problemin çözümü için gerekli olan başlangıç ve sınır şartları bu yöntemin doğruluğu için oldukça önemlidir. Flow3D programında, sınır şartları olarak akıma ait debi, akım derinliği, hız gibi parametreler tanımlanabilmektedir.

Başlangıç koşulu, zamanın sıfır olduğunda sistemin durumudur. Bu çalışma için tek başlangıç koşulu sıvı yüksekliğidir ve 1 metre olarak alınmıştır.

Çözüm ağları oluşturulduktan sonra modelin tasarımı doğru bir şekilde tamamlamak için FAVOR algoritmasının ardından, çözüm ağı sistemin sınırlarına sınır koşullarının belirlenmesi gerekir. Bir ağ bloğunun her yüzü bir sınır koşulunu temsil etmelidir. Sayısal model için sınır koşulları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.10’da da çözüm ağı düzlemleri ve sınır koşulları ile sayısal model gösterilmiştir.

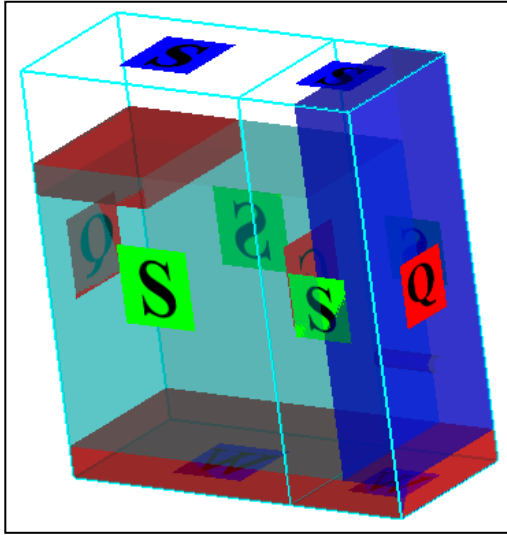
Bu çalışmada su yüzeyi (z -max sınırı) simetri (S) sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Su alma ağzın debisi (x -maks sınırı), debi (Q) sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Kanaldaki su seviyesini sabit tutmak için, kanal girişi (x -min sınır koşulu), su alma ağzıyla aynı debi değerinde debi (Q) sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Sınır etkisi olmadan yapılan analizler için, yan duvarlar (y - min ve y - max sınırı) ve kanal tabanı (z - min sınırı) simetri (S) sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Ancak yan duvar sınırının ve kanal taban sınırının etkisinin incelenmesi durumlarında yan duvar (y - min veya y - max sınırı) ve kanal tabanı

(z- min sınır koşulu) duvar (W) sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. İki çözüm ağı arası grid overlay (G) olarak tanımlanmıştır. Modeller, hidrolik denge durumuna ulaşmak için yeterli bulunan yani hız değerlerinde zamanla önemli bir değişiklik olmadığı anlaşılan 60 saniye boyunca çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Sınır koşulları

x-min	x-max	y-min*	y-max*	z-min*	z-max
Q – debi (Volume Flow Rate)	Q – debi (Volume Flow Rate)	S –Simetri (Symmetry) ya da W – Duvar (Wall)	S –Simetri (Symmetry) ya da W – Duvar (Wall)	S –Simetri (Symmetry) ya da W – Duvar (Wall)	S –Simetri (Symmetry)

* Akım sınırları, engel etkisiz durumlarda y-min, y-max ve z-min'de duvar (W) koşulu yerine simetri (S) sınır koşulu kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Modelde kullanılan sınır koşullarının 3 Boyutlu görünümü

Modelde kullanılan sınır koşullarından simetri "S" sınır koşulu düzlemi boyunca akış olmadığı ve simetri çizgisine normal hızın sıfır olduğu, ayrıca blokların komşu yüzeyleri arasında fiziksel koşulların aynı şekilde devamını ifade eder. Program, debiyi "Q" sınır koşulu yüzünde tanımlanan oranda tutarak kanala giren akım koşulları belirlenir. Grid overlay "G" sınır koşulu etki alanında iç içe geçmiş bir ağ tanımlandığında kullanılır. Programın duvar "W" sınır koşulu, kayma durumu olmayan katı bileşenler için tanımlanır.

4.2.4. Türbülans modeli ve en uygun seçimi

Çoğu HAD yazılımı, uygun alanlara kolaylıkla uygulanabilecek hazır türbülans modellerine sahiptir. FLOW-3D yazılımında kullanılabilen altı tane türbülans modeli ve bu çalışmada seçilen türbülans modeli aşağıda açıklanmıştır (Flow3d kullanım kılavuzu).

Prandtl karışım uzunluğu (Prandtl mixing length) modeli

3D türbülans etkilerini tanımlamak için yapılan ilk girişimlerden biridir. En az karmaşık modeldir. Akademik çalışmalara katkı sağlar. Ama çok yaygın kullanılmamaktadır.

Tek denklem k modeli (One-equation, turbulent energy model)

Zaman ortalama türbülans kinetik enerjisini (k) hesaplar ve tüm noktalarda türbülanslı karışım uzunluğunun bilinmesini gerektirir. Bu önceden bilinmediğinden, tek denklem modeli karmaşık akışların modellenmesi için uygun değildir.

İki denklem (k - ϵ) modeli (Two-equation (k - ϵ) model)

Türbülans kinetik enerjisini (k), sönmeme oranını (ϵ) hesaplayan ve türbülans karışım uzunluğunu dinamik olarak bulan iki denklemlidir. Hidrolik alanında geniş bir kullanıma sahiptir.

Renormalized Group (RNG) modeli

İki denklemlidir k - ϵ modelinin geliştirilerek çözüm aralığı genişletilmiş şeklidir. Daha çok endüstriyel problemler için önerilmektedir. Çeper ısı ve kütle transferinde, kıvrımlı akışlarda daha iyi çözümler sağlamaktadır.

İki denklem (k - ω) modeli (Two-equation (k - ω) model)

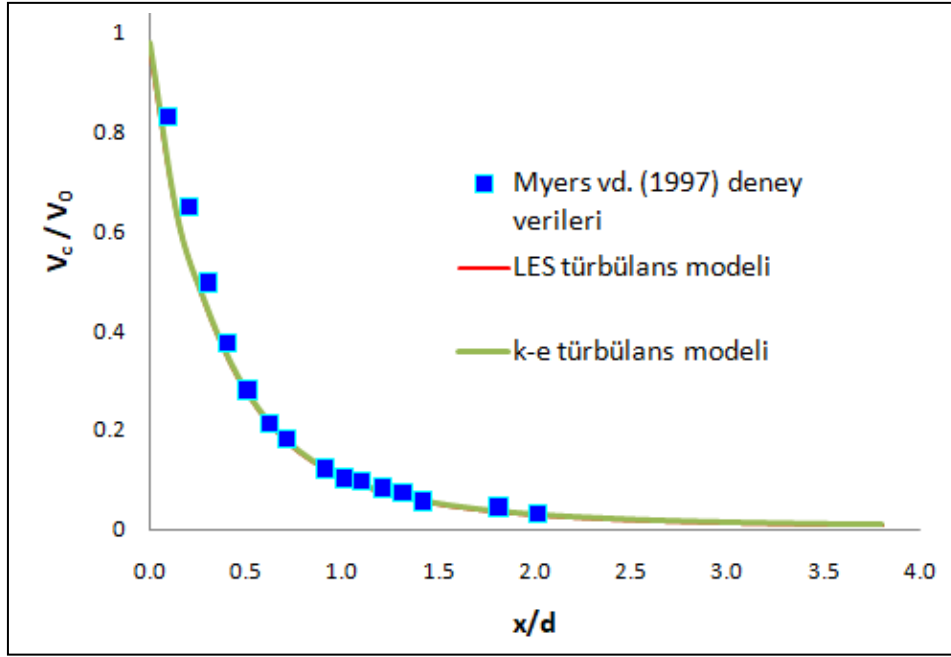
Kinetik enerji ile sönmeme oranını yani ikinci değişkeni $\omega = \epsilon / k$ şeklinde tanımlamaktadır. Serbest kayma akışlarında kullanılmaktadır.

Büyük çevrinti modeli (Large Eddy Simulation – LES)

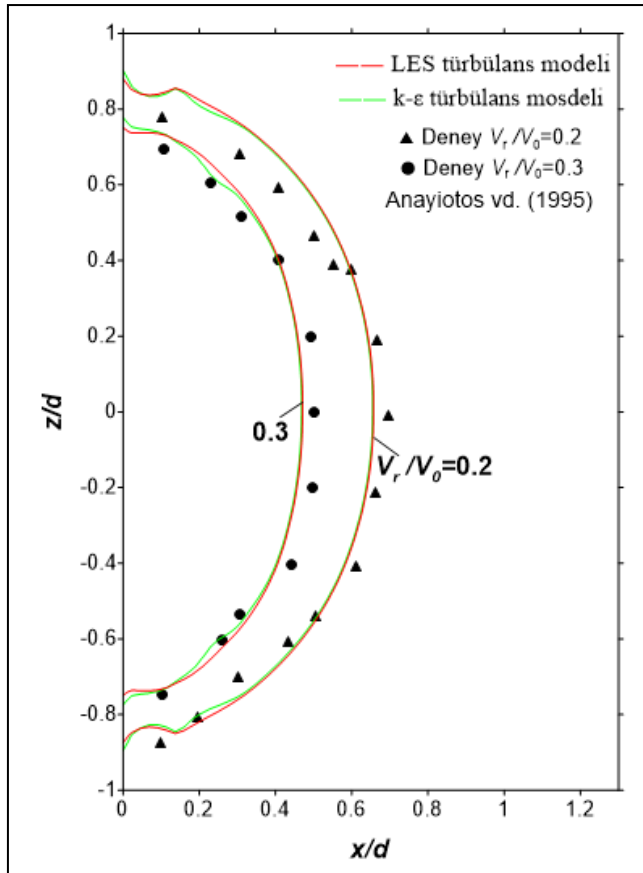
Türbülanslı dalgalanmaların çoğunu doğrudan çözerek türbülanslı akış hakkında daha kapsamlı veriler sunmaktadır. İki denklemlili modellerden daha iyi çözüm ağı çözünürlüğü (çok küçük hücre çözümü ve bilgisayar gücü) gerektirmekte ve türbülanslı akışın çok daha kapsamlı istatistik bilgilerini kapsamaktadır. Buna bağılı olarak çözüm süresi uzamaktadır.

Bu çalışmada Flow 3D yazılımında mevcut olan türbülans modellerinden iki denklem ($k - \epsilon$ model) modeli ve sayısal analizlerde literatürde en yaygın şekilde kullanılan büyük çevrinti (LES - Large Eddy Simulation) modeli kullanılarak sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

Güvenilir sonuçlar elde etmek için türbülans modelinin seçimi de önemlidir. Bu çalışmada dairesel kesitli su alma ağız ile analizler yürütülerek dairesel ağıza ait literatürde bulunan deney verileri ile sayısal analiz sonuçları doğrulanmıştır. İki farklı türbülans yöntemi kullanılarak yürütülen analizler neticesinde uygun olan türbülans yöntemine karar verilmiştir. FLOW-3D programında çözülen eksenel hız değerleri ve $x-z$ düzlemindeki eş hız eğrileri, türbülans modelinin çözüm üzerindeki etkisini göstermek için karşılaştırılmıştır. Farklı türbülans modellerinin sonuca etkisini incelemek amacıyla 10 lt/s debide $k-\epsilon$ ve LES türbülans modelleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.12 ve 4.13'te gösterilmiştir. Şekil 4.12 ve 4.13'te sayısal analizlerin doğrulandığı deneylere ait bilgiler de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde deneme yapılan simülasyonlarda $k-\epsilon$ ve LES türbülans modellerinin sonuçları arasında çok fazla bir farkın olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, su alma ağız akımları ile ilgili önceki sayısal çalışmalarda genellikle LES türbülans modeli kullanılmıştır (Nakayama ve Hisasue, 2010; Tokyay ve Constantinescu, 2006; Sarkardeh 2017). Bu nedenle, bu çalışmada da LES türbülans modeli kullanılmıştır.

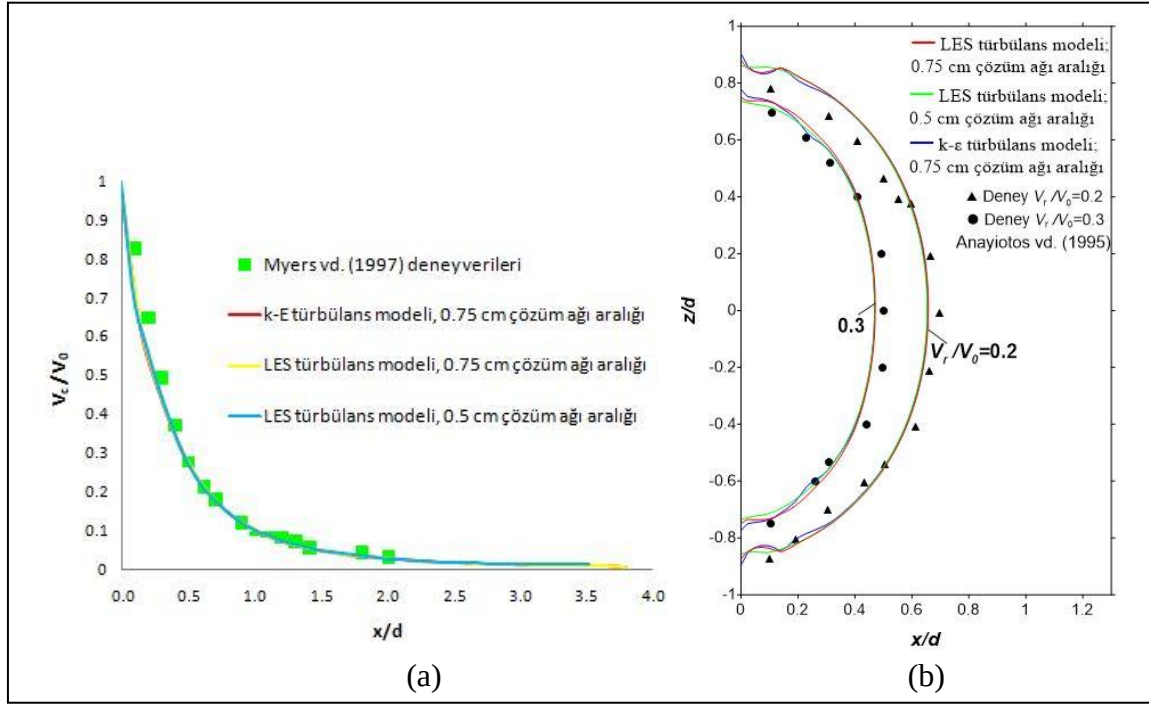


Şekil 4.12. Dairesel ağza ait LES ve k- ϵ türbülans modeli aksel hız sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması



Şekil 4.13. Dairesel ağza ait LES ve k- ϵ türbülans modeli x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri sonuçlarının deney verileri ile karşılaştırılması

Şekil 4.13 x-z düzleminde eş hız eğrilerini göstermektedir. Burada V_r x-z düzlemindeki bileşke hızı temsil etmektedir.

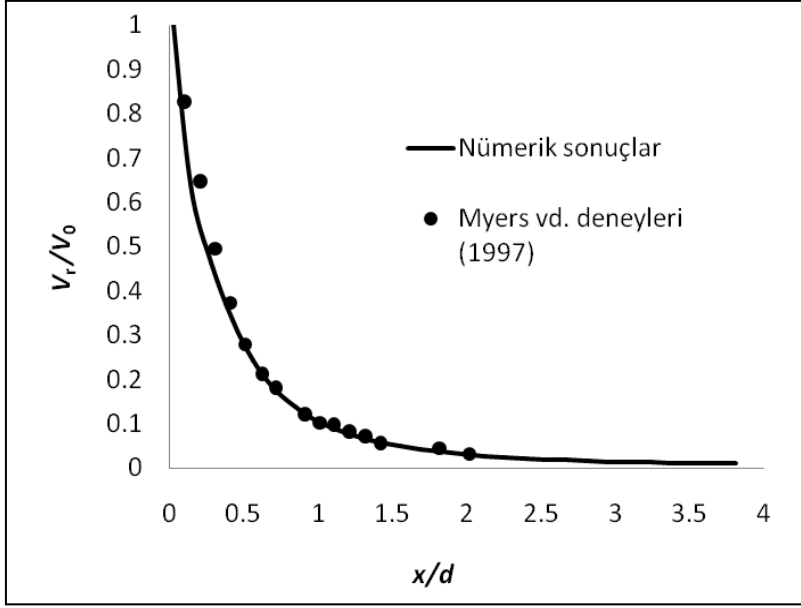


Şekil 4.14. Dairesel ağza ait LES ve k-E türbülans modeli sayısal sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırılması: a) Eksenel hız b) x-z düzleminde ($y=0$) eş hız eğrileri

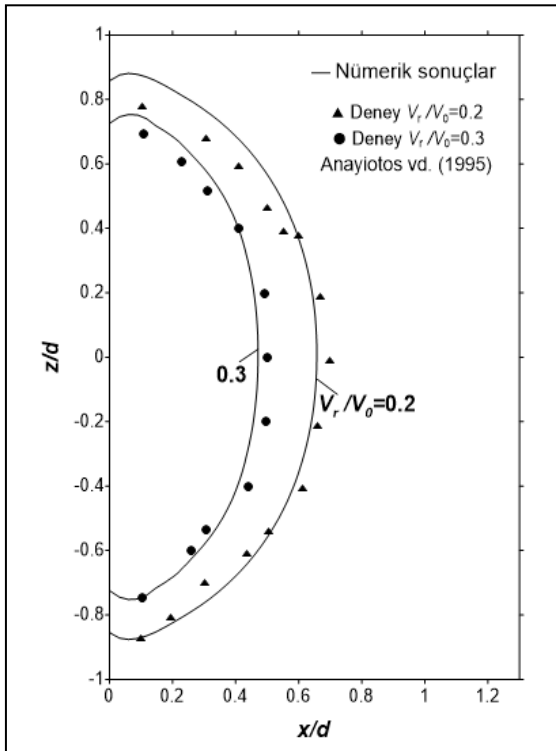
Şekil 4.14'te LES türbülans modelinin hem 0,75 cm hem de 0,5 cm çözüm ağı aralığı için nümerik sonuçları k- ϵ türbülans modeli 0,75 cm çözüm ağı aralığı ile de karşılaştırılmıştır. LES türbülans modeli için daha ince bir çözüm aralığı denenmiş fakat türbülans modelleri arasında pek fark görülememiştir. Dolayısıyla seçilen 0,75 cm çözüm ağı aralığı ve LES türbülans modeli sayısal analizlerde kalibrasyon için uygun bulunmuştur.

4.2.5. Daire kesiti ile yapılan deneylerin sayısal çözümlerle kıyaslanması

Sayısal model, sınır etkisi olmayan dairesel bir ağza ait mevcut deney verileriyle kıyaslanmıştır. Şekil 4.15 ve 4.16, sayısal model sonuçlarının mevcut deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 4.15'de V_c eksenel hız ve Şekil 4.16'da V_r söz konusu düzlemdeki bileşke hızdır.



Şekil 4.15. Dairesel ağza ait mevcut deney verileriyle HAD modeli aksel hız analiz sonuçlarının kıyaslanması



Şekil 4.16. Dairesel ağza ait mevcut deney verileriyle HAD modeli x - z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri analiz sonuçlarının kıyaslanması

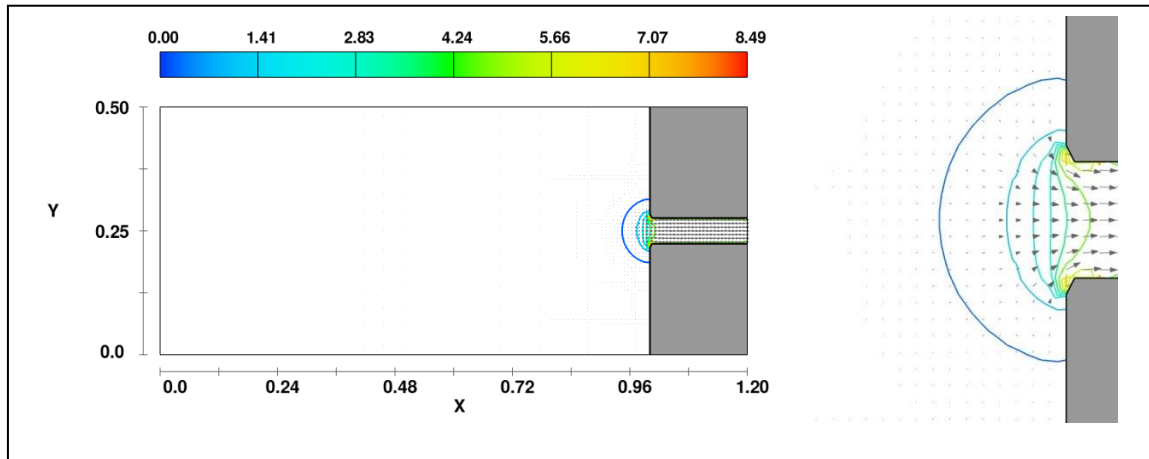
Sayısal model sonuçları ile mevcut deney verilerin doğrulanması ile birlikte model kalibre edilmiş ve bu sayede daire dışındaki diğer ağız geometrilerinin analizleri ve aralarında kıyasları da yapılmıştır.

4.2.6. Engel etkisiz durum için daire kesitine sahip su alma ağzına ait Flow3D görüntüleri

FLOW-3D’de bulunan Görüntü (Display) ekranında analiz sekmesinde seçilen kriterlere göre görsel sonuçlar görüntülenebilir. Ekranın anlık görüntüsü alınabilir.

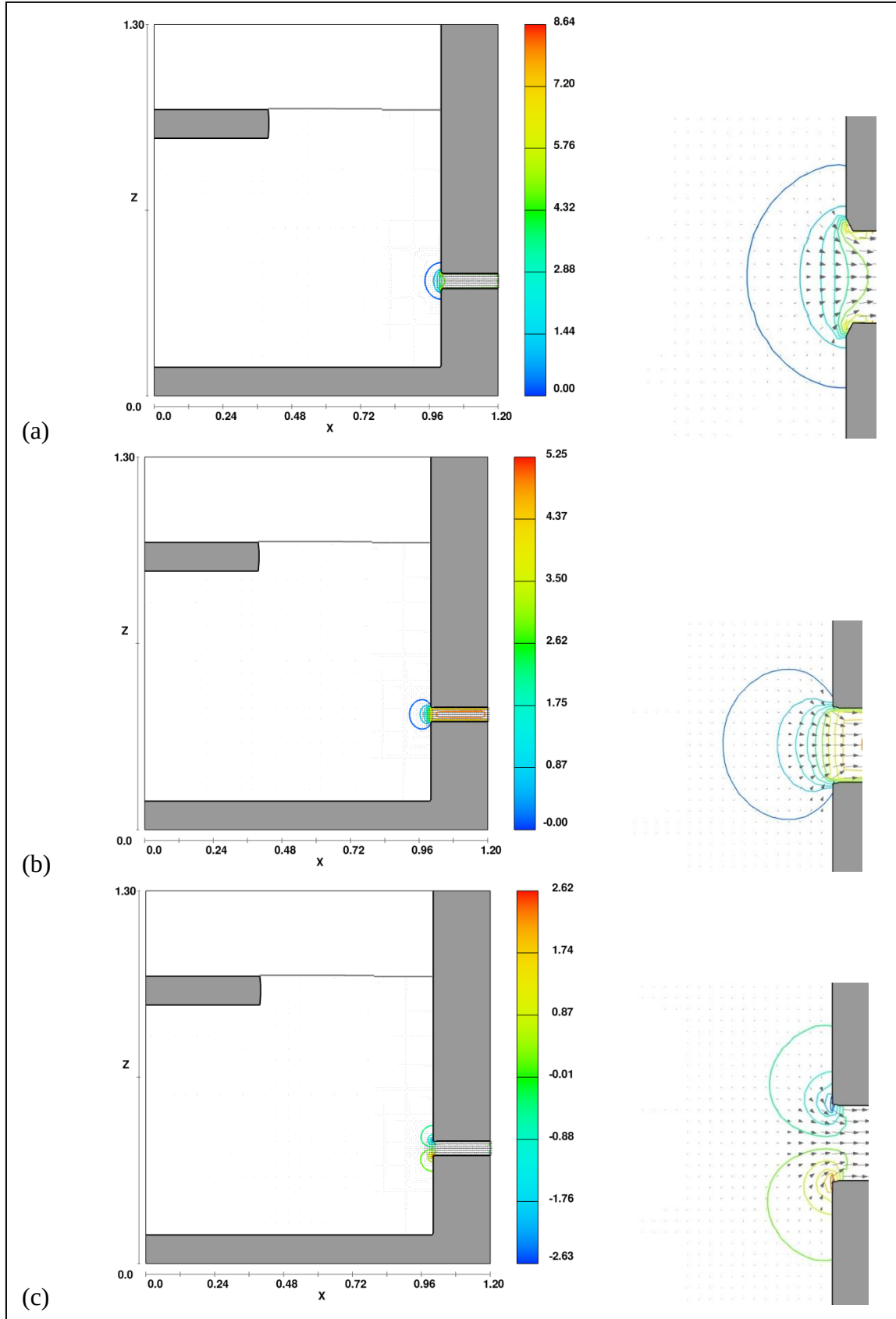
Bu çalışmada engel etkisiz durumda, dikdörtgen kanaldan su alan 5,32 cm çapa sahip dairesel kesitli su alma ağzının 10 lt/s debide, çözüm ağı aralıkları ağza uzak alanda 4 cm ve ağza yakın alanda 0,75 cm, türbülans modeli LES, toplam 60 s süren modele ait simülasyon sonrası 2 boyutlu ekran görüntüleri alınmıştır. Bu görüntülerden bazı örnekler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Hızın birimi m/s olarak alınmıştır.

Şekil 4.17’de x-y düzlemindeki eş hız eğrileri ve hız vektörleri gösterilmiştir.



Şekil 4.17. x-y düzlemindeki ($z=0$) plan görünümünde eş hız eğrileri, akım alanı vektörleri ve renklendirilmiş hız büyüklükleri

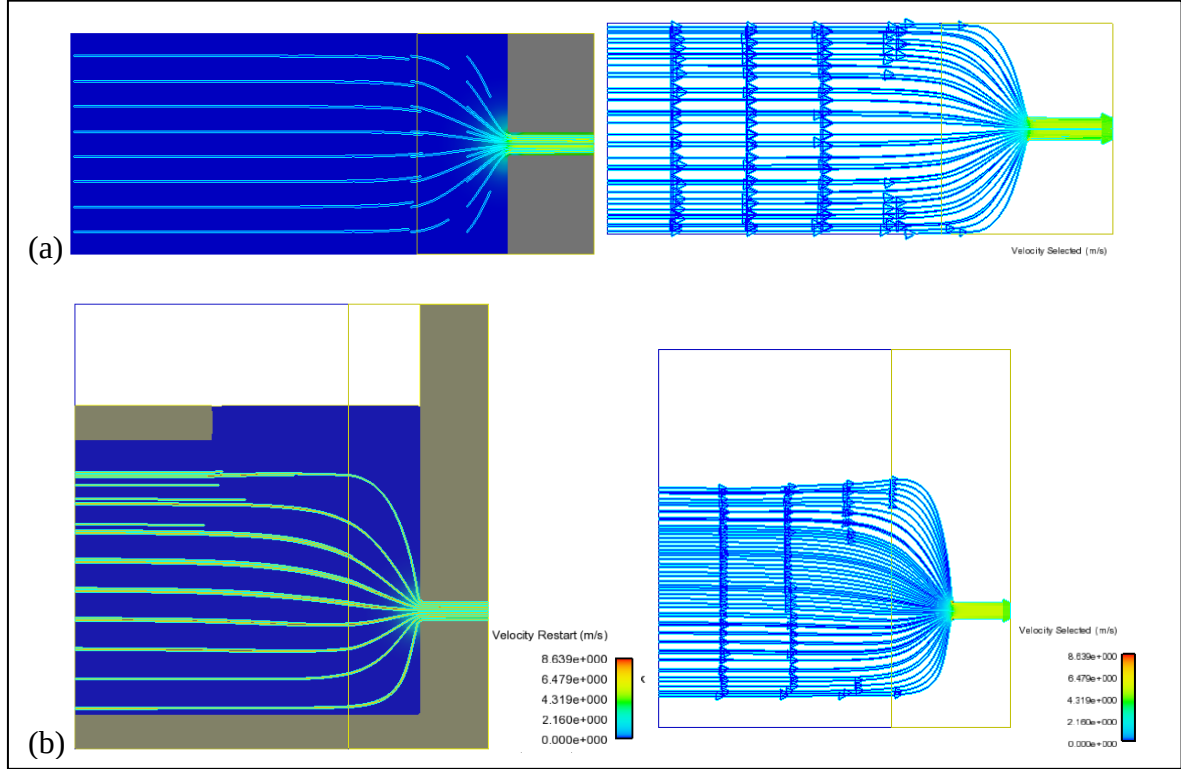
Şekil 4.18’de x-z düzlemindeki eş hız eğrileri ve hız vektörleri gösterilmiştir. Bu eş hız eğrileri, ilk olarak x ve z yönündeki hızların bileşkesi olan V_r ’nin, ikincisi sadece x yönündeki V_x hızının eş hız eğrilerinin ve üçüncü ise sadece z yönündeki V_z hızının eş hız eğrilerinin görüntüleridir.



Şekil 4.18. x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri ve akım alanı vektörleri: a) Bileşke eş hız eğrileri, b) Sadece x yönündeki V_x hızının eş hız eğrileri, c) Sadece z yönündeki V_z hızının eş hız eğrileri

FLOW-3D'ye ek olarak bulunan FlowSight uygulamasından da bahsedilen tüm görüntüler alınabilir. Bu görüntülerden bazı örnekler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

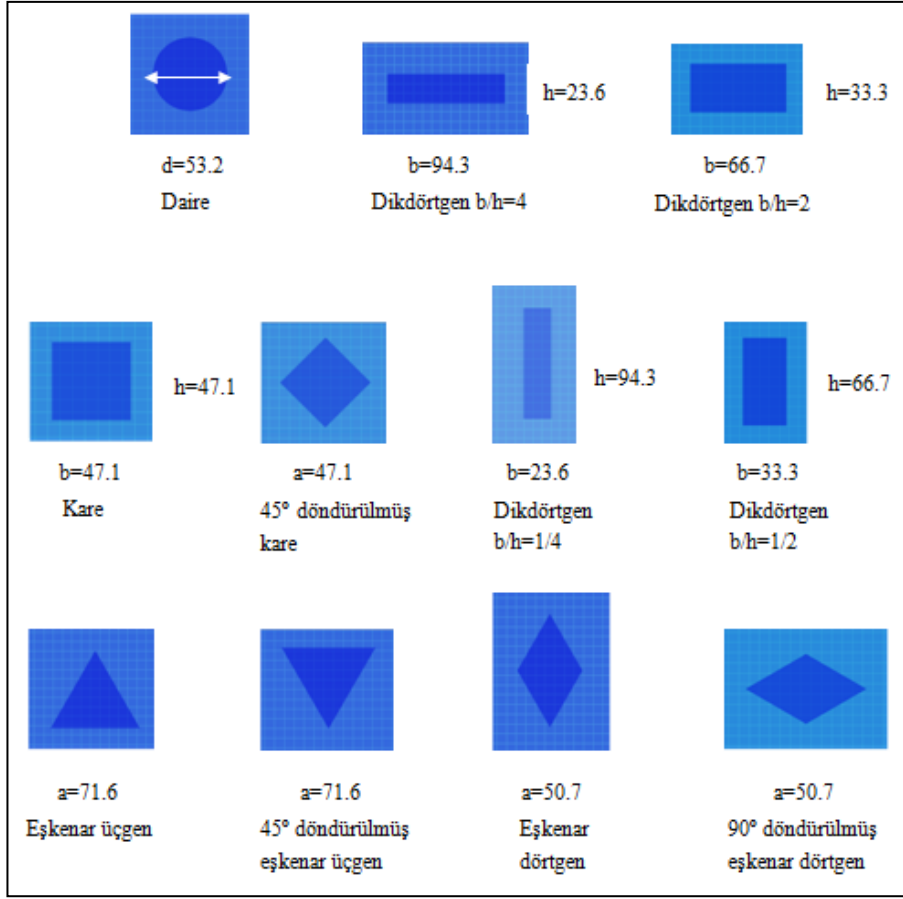
Şekil 4.19'da x-y düzlemindeki ve x-z düzlemindeki akım çizgileri gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Akım çizgisi: a) x-y düzlemindeki ($z=0$), b) x-z düzlemindeki ($y=0$)

4.3. Daire Kesiti ile Birlikte Farklı Ağız Kesitlerine ait Geometrilerle Yapılan Sayısal Çözümler

Sayısal model doğrulandıktan sonra, Şekil 4.20'de verilen diğer ağız türleri, sayısal olarak incelenmiştir. Burada farklı en kesit geometrilerin tamamının en kesit alanı sayısal olarak çözümü yapılan daire en kesit alanına eşit olarak alınmıştır. Böylece tüm ağızlara ait en kesit alanları, aynı debi değerinde ağız içerisinde aynı ortalama hızın elde edilebilmesi açısından birbirlerine eşit tutulmuştur.



Şekil 4.20. Modelde kullanılan farklı su alma ağızı giriş kesitleri (Tüm ölçüler mm cinsindedir ve a üçgen, kare ve dikdörtgen ağızların bir kenarının uzunluğudur).

Şekil 4.20’de gösterilen çalışmada kullanılan farklı en kesit şekillerine sahip su alma ağızları: daire, enin yüksekliğe oranı 4, 2, 1/4, 1/2 olan dikdörtgenler, kare, 45° döndürülmüş kare, eşkenar üçgen, 180° döndürülmüş eşkenar üçgen, eşkenar dörtgen ve 90° döndürülmüş eşkenar dörtgendir.

Şekil 4.20’de gösterilen ağızların membasındaki hız dağılımlarının bulmak için de kurulan HAD modelinde iki adet çözüm ağı bloğu kullanılmıştır. Ağza yakın bölgedeki hız değerlerini daha hassas elde edebilmek amacıyla bu bölgedeki çözüm ağı bloğu diğerine göre daha küçük aralıklara sahiptir. Su alma ağızları membasındaki hız dağılımı üzerinde akım sınırlarından (kanal tabanı, kanal yan duvarları ve su yüzeyi) kaynaklanan etkilerin olmaması adına, su alma ağızı bahsedilen sınırlardan yeterince uzağa yerleştirilmiştir. Literatürde dairesel ağza ait deney verileri kullanılarak HAD modeli kalibre edilmiştir. Tüm geometriler için, dairesel ağız için de kullanılan 0.75 cm’lik çözüm ağı aralığı ve LES türbülans modeli seçilmiştir.

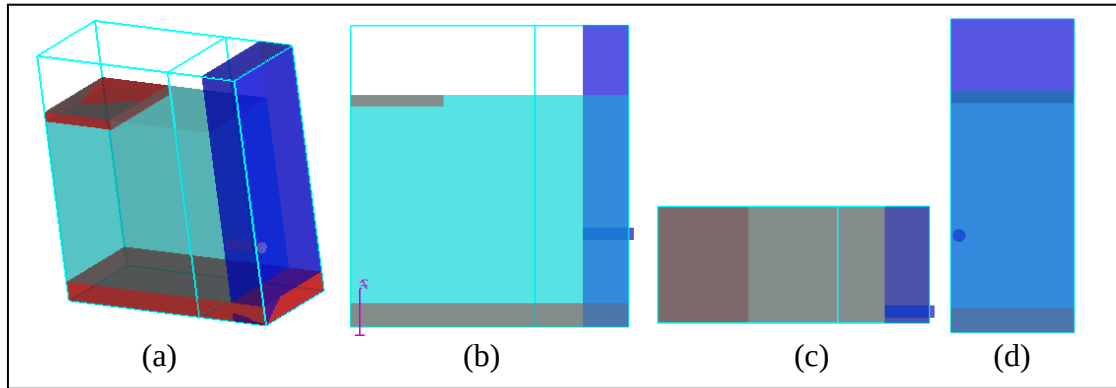
4.4. Sınır Etkileri Durumuna ait Sayısal Modeller

Bu çalışmada dikdörtgen bir kanalın ölü son duvarından su alan su alma ağzlarının membasındaki hız dağılımı engel etkisiz durum için incelenmiştir. Bunun yanı sıra yan duvar sınır etkisi ve taban sınır etkisi için de çözümler yapılmıştır. Engel etkisiz durum için oluşturulan kalibre edilmiş modelde sadece sınır koşullarında yapılan değişiklikler sayesinde duvar ve taban sınır etkileri ayrı ayrı incelenmiştir.

Aşağıda verilen şekiller daire için olup diğer geometriler için de uygulanmıştır. Ağzların taban veya yan duvarlara olan mesafeleri $\sqrt{A}$ ve $0,7\sqrt{A}$ olarak alınmıştır. Buradaki A , ağzın kesit alanını göstermektedir.

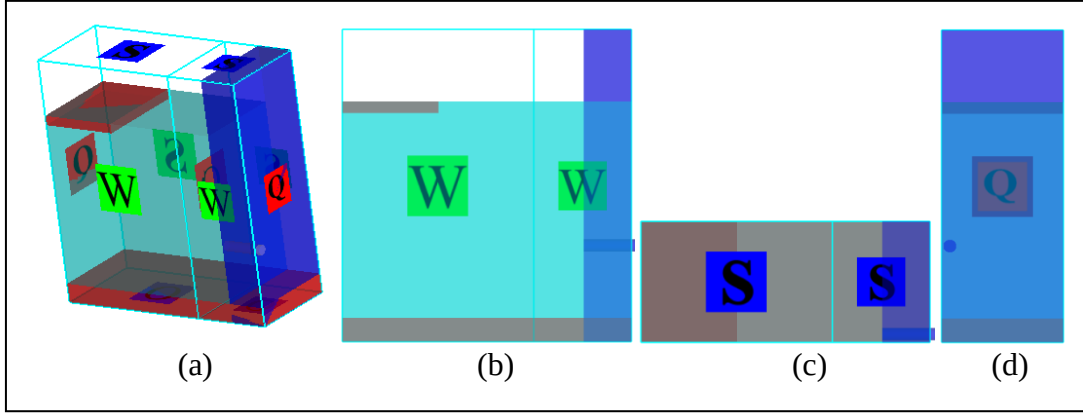
4.4.1. Yan duvar etkisi durumuna ait sayısal modeller

Yan duvar etkisi su alma ağzının yan duvara yakın olma halidir. Bu sebeple su alma ağzının membasındaki hız dağılımını etkilemektedir. Şekil 4.21’de modelde su alma ağzının konumu üç boyutlu ve farklı düzlemlerde gösterilmiştir.



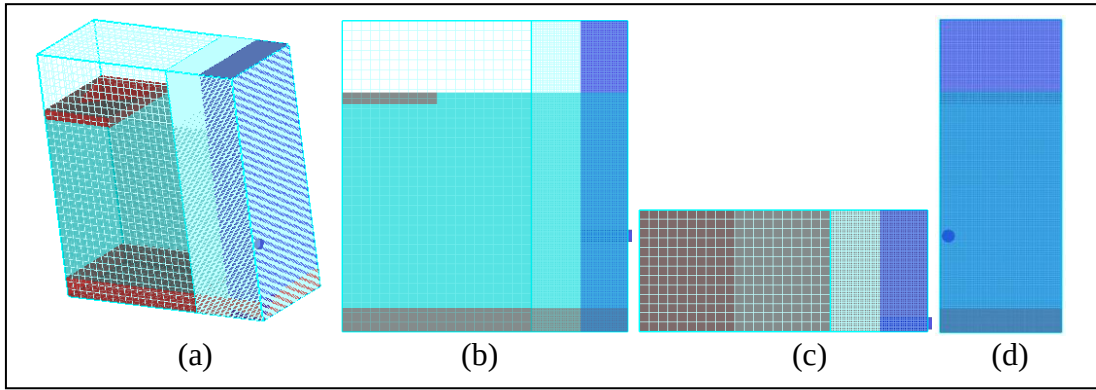
Şekil 4.21. Yan duvar etkisi olan su alma ağzı model geometrilerinin görünüşleri; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.22’de yan duvar sınır etkisi için tanımlanan sınır koşulları gösterilmiştir. Duvar sınır etkisinde engel etkisiz durumdan farklı olarak su alma ağzının yan duvara yakın olan sınırı da duvar “W” sınır koşulu olarak tanımlanmıştır.



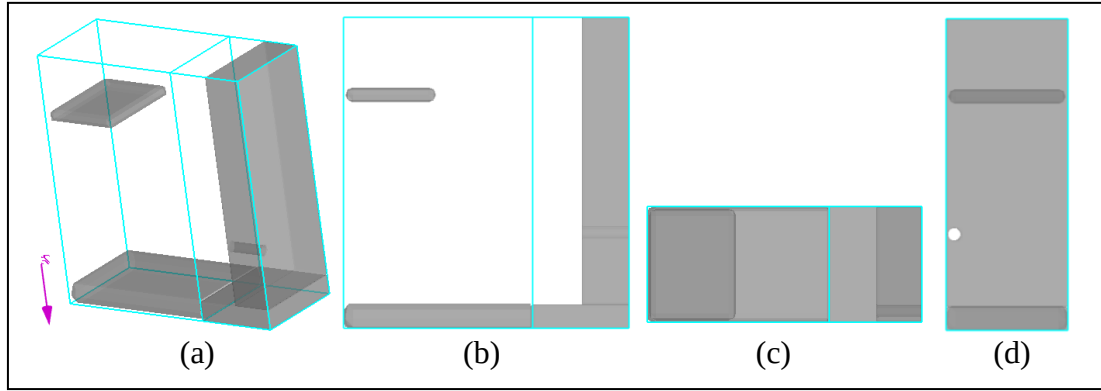
Şekil 4.22. Yan duvar etkisi olan modelde kullanılan sınır koşullarının görünümü; a) 3D, b) x-z düzlemi yan duvar sınır etkisi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.23'te engel etkisiz durum ile yan duvar sınır etkili durumda da aynı çözüm ağı bloklarının kullanıldığı gösterilmiştir.



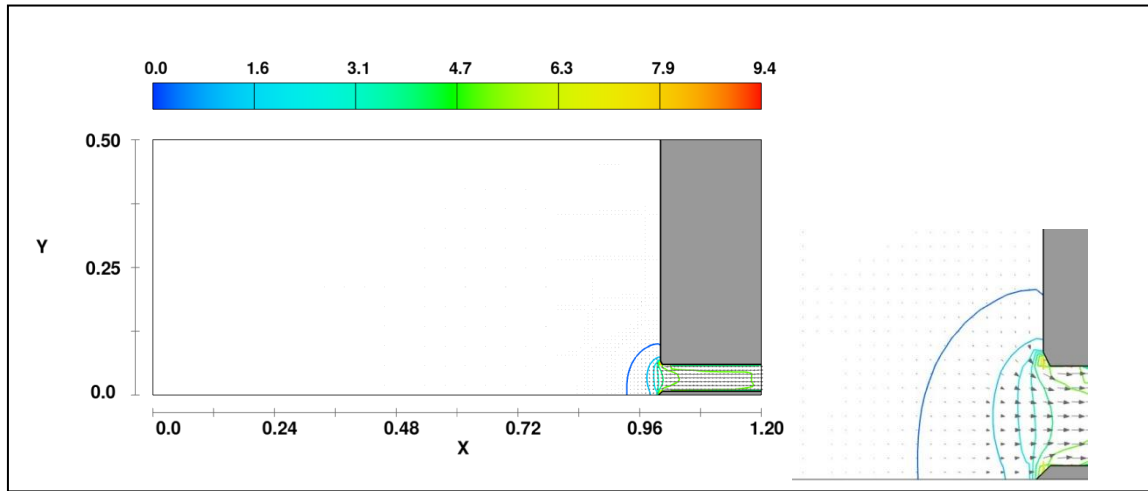
Şekil 4.23. Yan duvar etkisi olan modelin çözüm ağı bloğu ile birlikte görünümü; a) 3 Boyutlu, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.24'te yan duvar sınır etkisi durumunda modeli kontrol etmek için FAVOR ile bakılmıştır. Su alma ağzının yan duvar sınırına çok yakın olduğu ve enkesitin tamamının çözüm ağı içerisinde olduğu teyit edilmiştir.



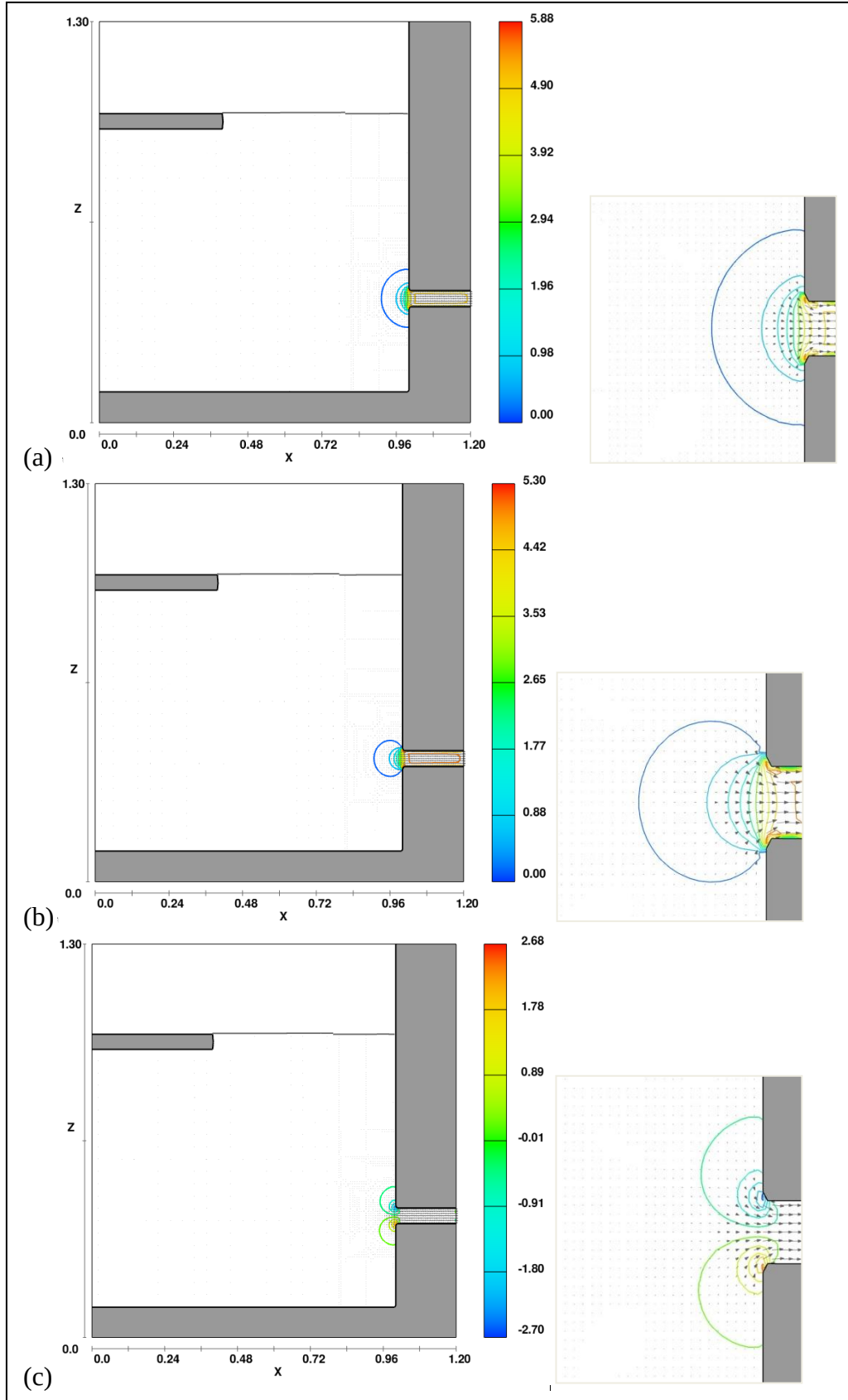
Şekil 4.24. Yan duvar etkisi olan modelin FAVOR ile görünümü; a) 3 Boyutlu, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.25'te yan duvar sınır etkisi altında dairesel ağız için x-y düzleminde oluşan hız vektörleri ve eş hız eğrileri gösterilmiştir. Bu görüntüler sayesinde su alma ağzının membasındaki hız dağılımının sınır etkisiz duruma göre x-y düzleminde önemli farklar gösterdiği gözlemlenmiştir.



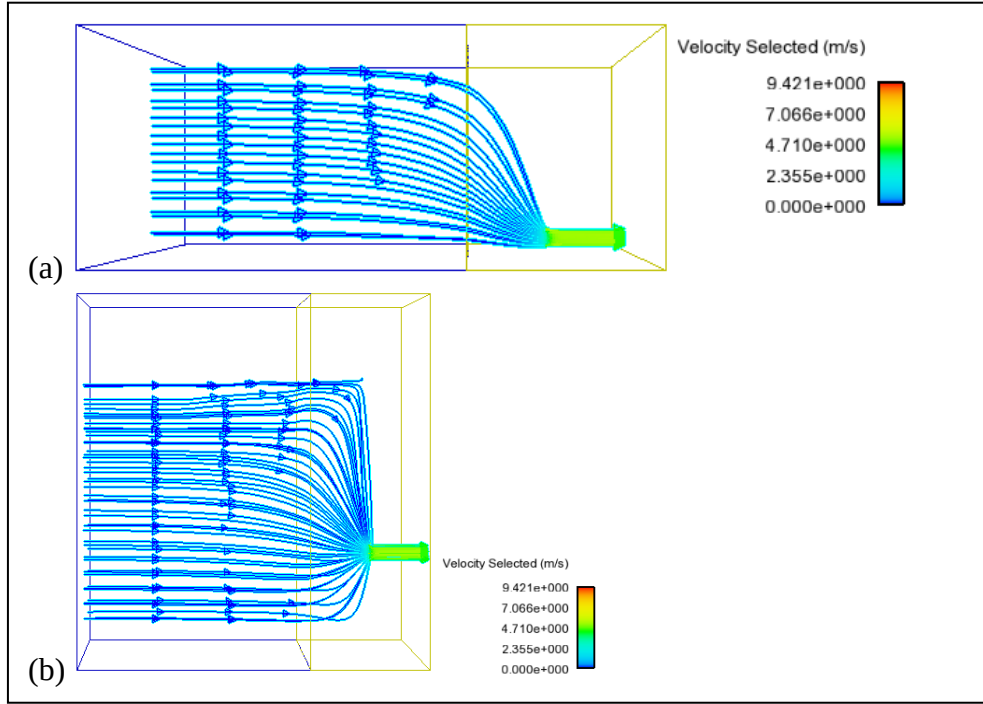
Şekil 4.25. Yan duvar etkisindeki x-y düzlemindeki ($z=0$) plan görünümünde eş hız eğrileri ve hız vektörleri: Renklendirilmiş hız büyüklükleri ve ağzın yakınlştırılmış hali

Şekil 4.26'da ise yan duvar sınır etkisi altında dairesel ağız için x-z düzleminde oluşan hız vektörleri ve eş hız eğrileri gösterilmiştir. Bu görüntüler sayesinde su alma ağzının membasındaki hız dağılımının engel etkisiz duruma göre x-z düzleminde şekilsel olarak büyük bir fark göstermediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.26. Yan duvar etkisi altında x - z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri ve hız vektörleri: a) Eş hız eğrileri, b) Sadece x yönündeki V_x hızına ait eş hız eğrileri, c) Sadece z yönündeki V_z hızına ait eş hız eğrileri

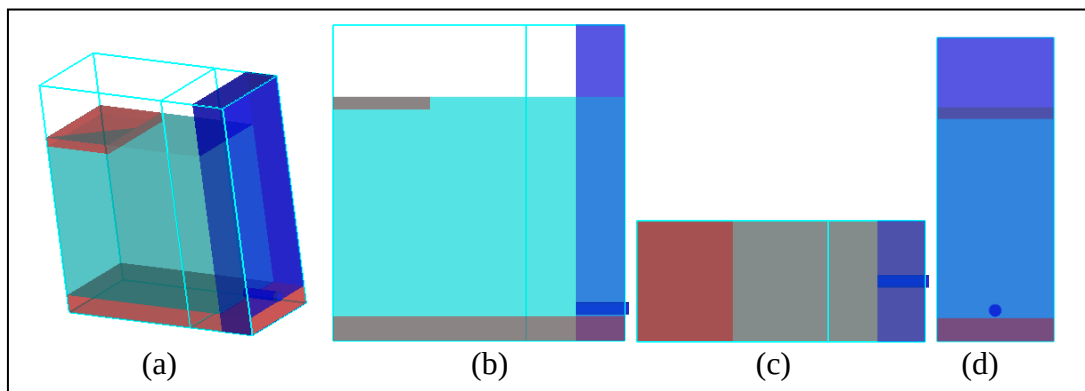
Şekil 4.27’de yan duvar sınır etkisindeki x-y düzlemindeki ve x-z düzlemindeki akım çizgileri gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Yan duvar etkisi altında akım çizgileri: a) x-y düzlemi ($z=0$), b) x-z düzlemi ($y=0$)

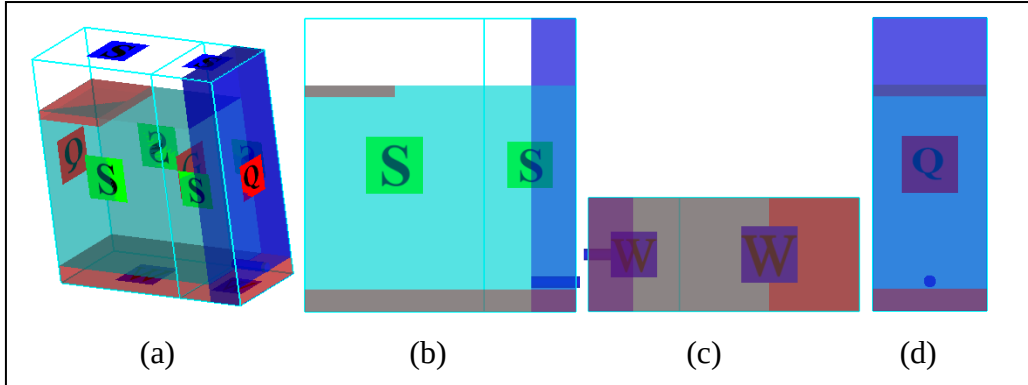
4.4.2. Taban etkisi durumuna ait sayısal modeller

Taban etkisi su alma ağzının tabana çok yakın olma halidir. Bu sebeple su alma ağzının membasındaki hız dağılımını etkilemektedir. Şekil 4.28’de modelde su alma ağzının konumu üç boyutlu ve farklı düzlemlerde gösterilmiştir.



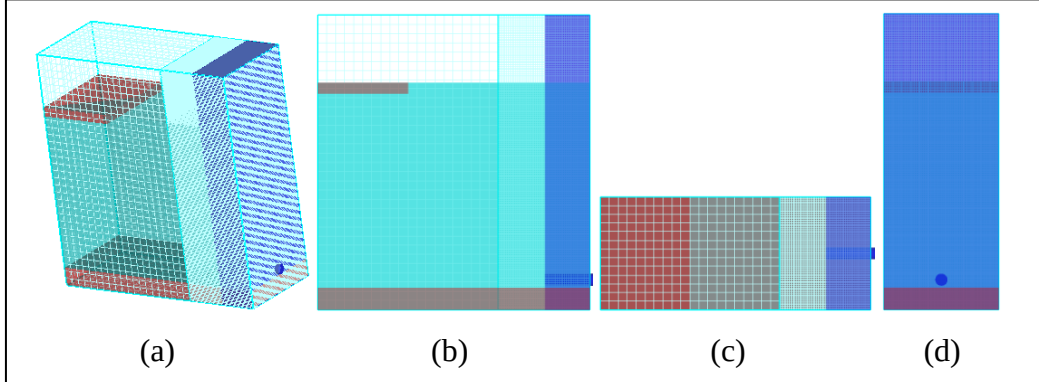
Şekil 4.28. Taban sınır etkisi olan su alma ağzı model geometrilerinin görünüşleri; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.29’da taban sınır etkisi için tanımlanan sınır koşulları gösterilmiştir. Taban sınır etkisinde engel etkisiz durumdan farklı olarak su alma ağzının tabana yakın olan sınırı da duvar “W” sınır koşulu olarak tanımlanmıştır.



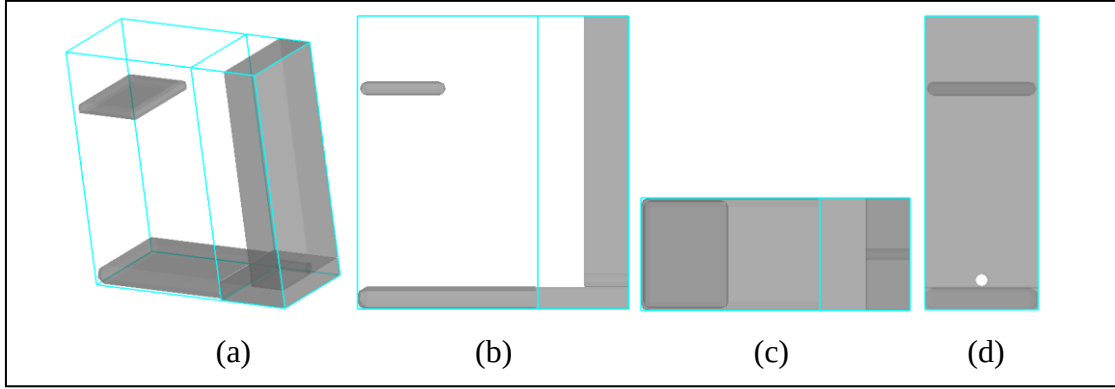
Şekil 4.29. Taban sınır etkisi olan modelde kullanılan sınır koşullarının görünümü; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi taban sınır etkisi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.30’da engel etkisiz durum ile taban sınır etkili durumda da aynı çözüm ağı bloklarının kullanıldığı gösterilmiştir.



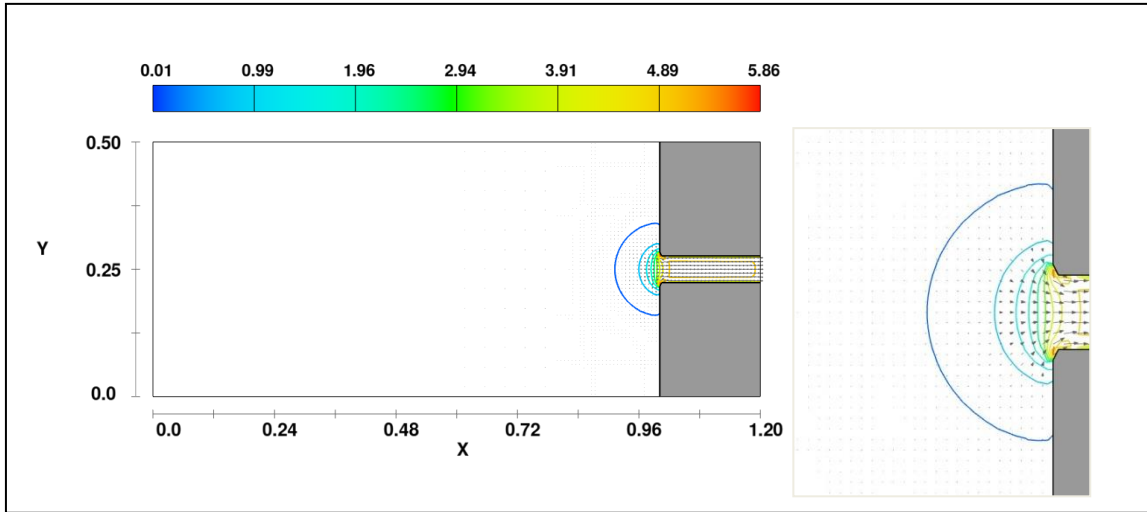
Şekil 4.30. Taban sınır etkisi olan modelin çözüm ağı bloğu ile birlikte görünümü; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.31’de taban sınır etkisi durumunda modeli kontrol etmek için FAVOR ile bakılmıştır. Su alma ağzının taban sınırına çok yakın olduğu ve enkesitin tamamının çözüm ağı içerisinde olduğu teyit edilmiştir.



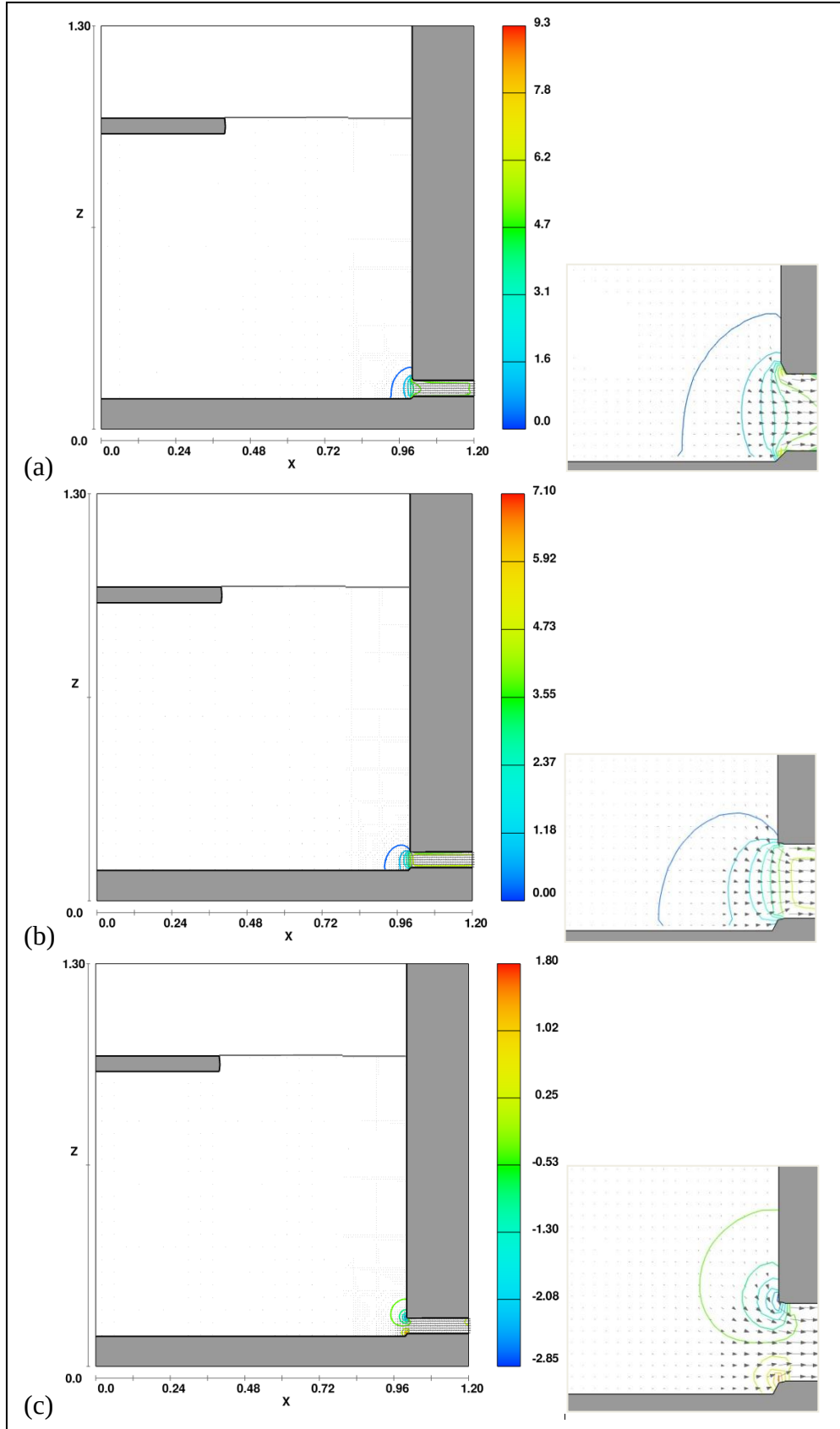
Şekil 4.31. Taban sınır etkisi olan modelin FAVOR ile görünümü; a) 3D, b) x-z düzlemi, c) x-y düzlemi, d) y-z düzlemi

Şekil 4.32’de dairesel ağız için taban sınır etkisinin var olması durumunda x-y düzleminde oluşan hız vektörleri ve eş hız eğrileri gösterilmiştir. Bu görüntüler sayesinde su alma ağzının membasındaki hız dağılımının engel etkisiz duruma göre x-y düzleminde şekilsel olarak büyük bir fark göstermediği gözlemlenmiştir.



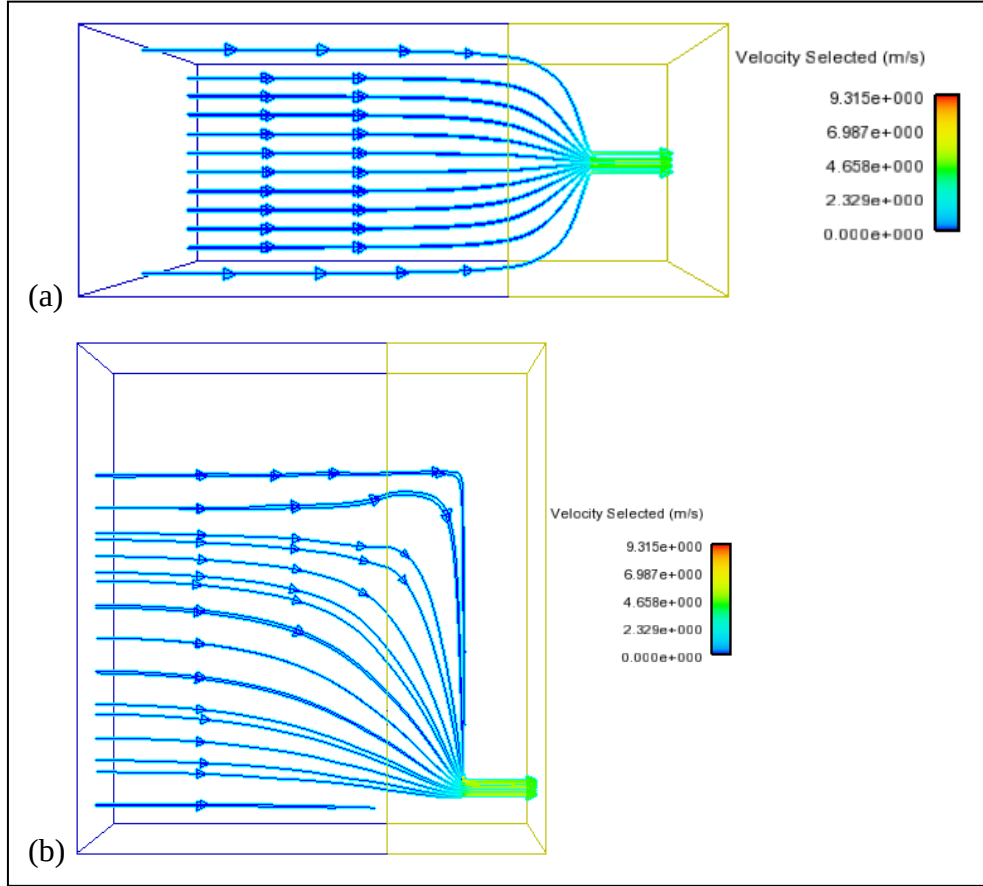
Şekil 4.32. Taban sınır etkisinde x-y düzlemindeki ($z=0$) plan görünümünde eş hız eğrileri ve hız vektörleri: Renklendirilmiş hız büyüklükleri ve ağzın yaklaştırılmış hali

Şekil 4.33’te dairesel ağız için taban sınır etkisinin var olması durumunda x-z düzleminde oluşan hız vektörleri ve eş hız eğrileri gösterilmiştir. Bu görüntülerden anlaşılaacağı üzere su alma ağzının membasındaki hız dağılımının engel etkisiz duruma göre x-z düzleminde önemli farklar gösterdiği görülmüştür.



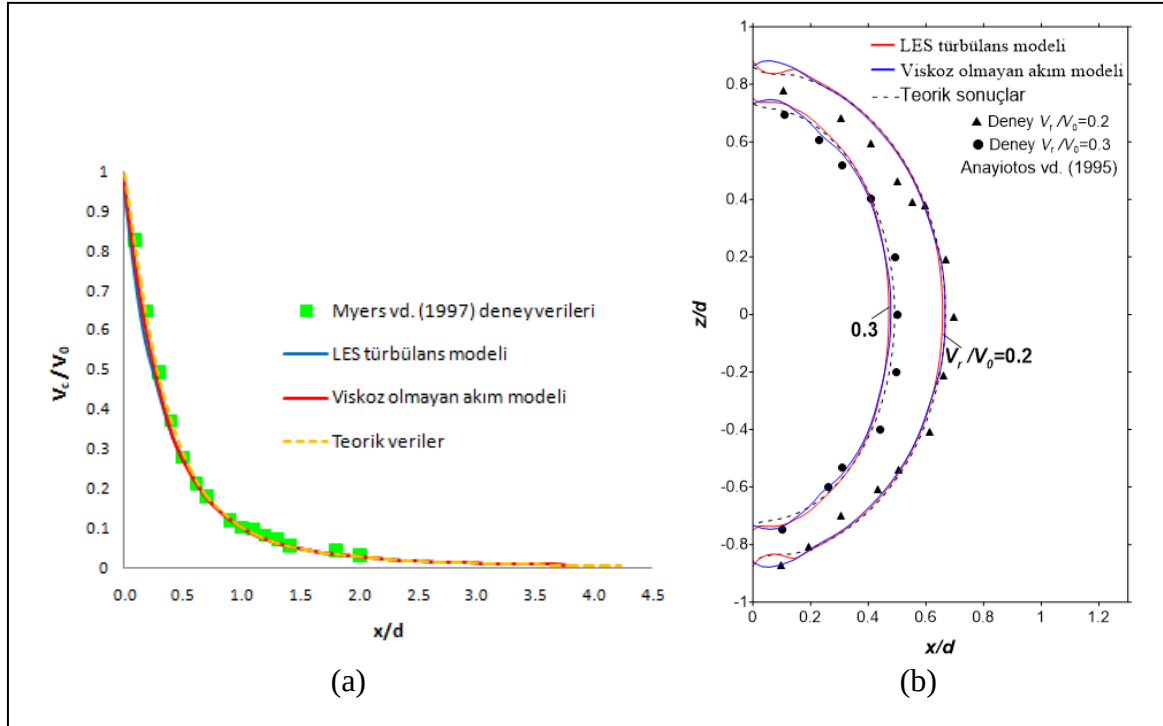
Şekil 4.33. Taban sınır etkisinde x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri ve hız vektörleri: a) Eş hız eğrileri, b) Sadece x yönündeki V_x hızına ait eş hız eğrileri, c) Sadece z yönündeki V_z hızına ait eş hız eğrileri

Şekil 4.34'te taban sınır etkisindeki x-y düzlemindeki ve x-z düzlemindeki akım çizgileri gösterilmiştir.



Şekil 4.34. Taban sınır olması durumunda akım çizgisi: a) x-y düzleminde, b) x-z düzleminde

Şekil 4.35'te de engel etkisiz durumda dairesel ağız için LES türbülans modeli, viskoz olmayan (inviscid) akım modeli ve potansiyel akım çözümüne ait teorik sonuçlar, aksenal hız ve x-z düzlemindeki ($y=0$) eş hız eğrileri bakımından mevcut literatürdeki deney verileri ile karşılaştırılmıştır. Viskoz olmayan akım sonuçları ile teorik sonuçlar beklenildiği gibi oldukça yakın çıkmıştır.



Şekil 4.35. Dairesel ağza ait LES türbülans modeli, viskoz olmayan akım modeli ve teorik sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırılması: a) Eksenel hız b) x - z düzleminde ($y=0$) eş hız eğrileri

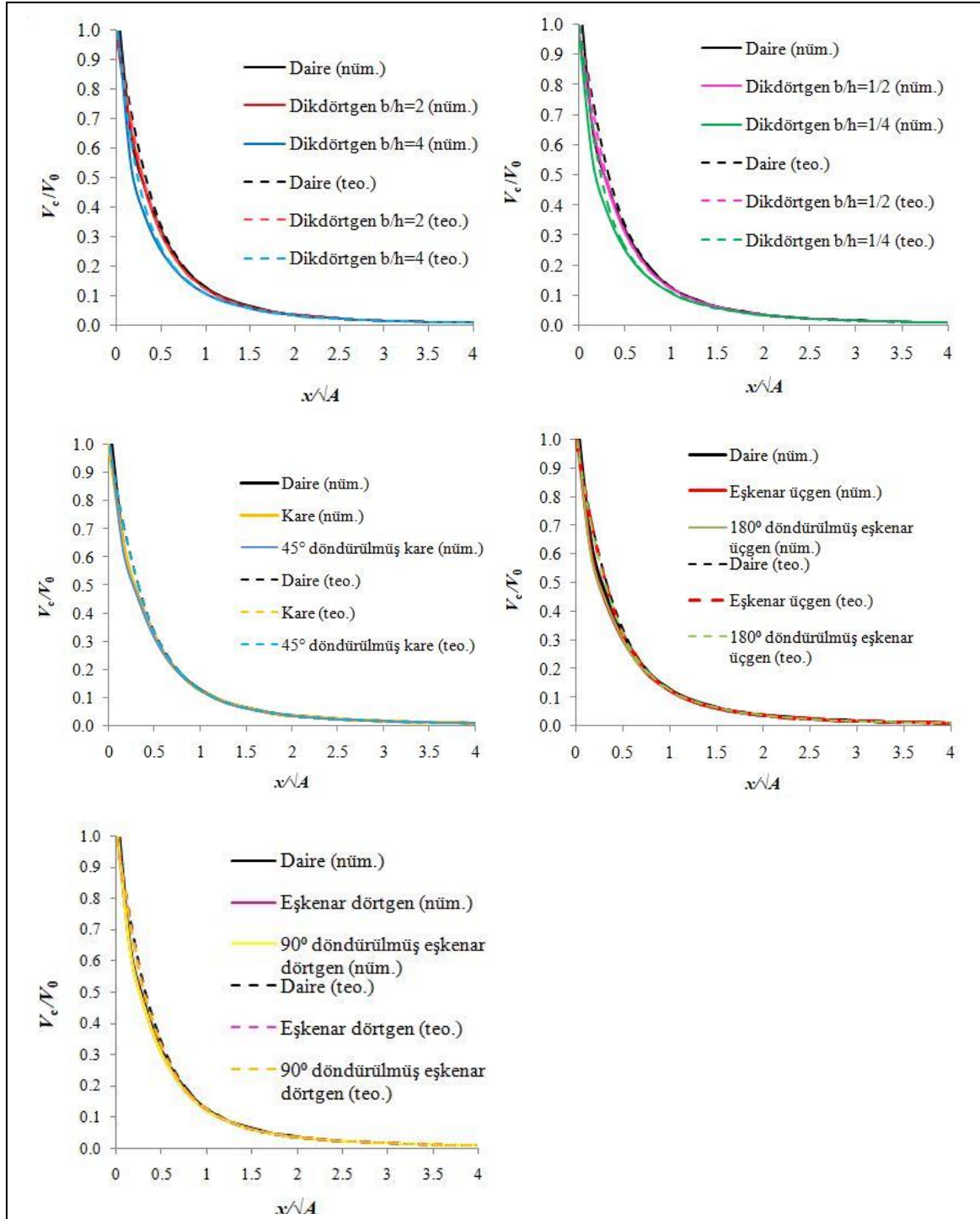
5. TEORİK VE SAYISAL SONUÇLARIN YORUMLANMASI

Çeşitli ağız tiplerinin membasında oluşan hız dağılımlarına ait teorik, sayısal ve mevcut deneysel sonuçlar bu bölümde karşılaştırılmıştır. İncelenen ağız tipleri arasında anlamlı bir karşılaştırma yapabilmek için, mesafeler $\sqrt{A}$ (A = ağızların kesit alanı) ve elde edilen hızlar da V_0 kullanılarak normalize edilmiştir.

5.1. Sınır Etkisi Olmayan Durumların Analizi

Şekil 5.1'de, kanalın uzunluğu boyunca ağız geometrik merkezi ($y=0$, $z=0$) doğrultusunda boyutsuz eksenel hız değişimi, ölü-son duvar haricinde sınır etkisinin olmadığı durumlar için gösterilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, $(x/\sqrt{A}) > 1,5$ için, eksenel hızların mesafeye göre değişimi neredeyse tüm ağız tipleri için birbiriyle çakışmıştır. Ayrıca, kare, üçgen ve eşkenar dörtgen ağızlar için elde edilen boyutsuz eksenel hızlar, dairesel ağız için elde edilen boyutsuz eksenel hız dağılımına oldukça yakındır. Dikdörtgensel ağızlar için en/yükseklik (b/h) oranı 1'den uzaklaştıkça (ki bu durum ağız akımının bir noktasal kuyu akımından uzaklaştığı anlamına gelir) boyutsuz eksenel hız, $x/\sqrt{A} < 1$ bölgesinde dairesel ağızın boyutsuz eksenel hızına göre azalmıştır. Bu azalma, dairesel bir ağızla kıyaslandığında $b / h = 0,25$ veya 4 olan dikdörtgen bir ağız için yüzde 20'ye kadar çıkmıştır.

Ağız giriş kesitinin döndürülmesinin etkisi, döndürülmüş ve döndürülmemiş kare, eşkenar dörtgen ve üçgen ağızların veya ters b/h oranlarına sahip dikdörtgen ağızların sonuçları karşılaştırılarak incelenmiştir. Sonuçlar, ağız en kesitinin döndürülmesinin boyutsuz eksenel hız üzerinde ihmal edilebilir etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca teorik ve sayısal sonuçlar birbirleriyle uyumlu bulunmuştur.



Şekil 5.1 Çeşitli ağızlar için aksenal hızın kanal eksenini boyunca değişimi

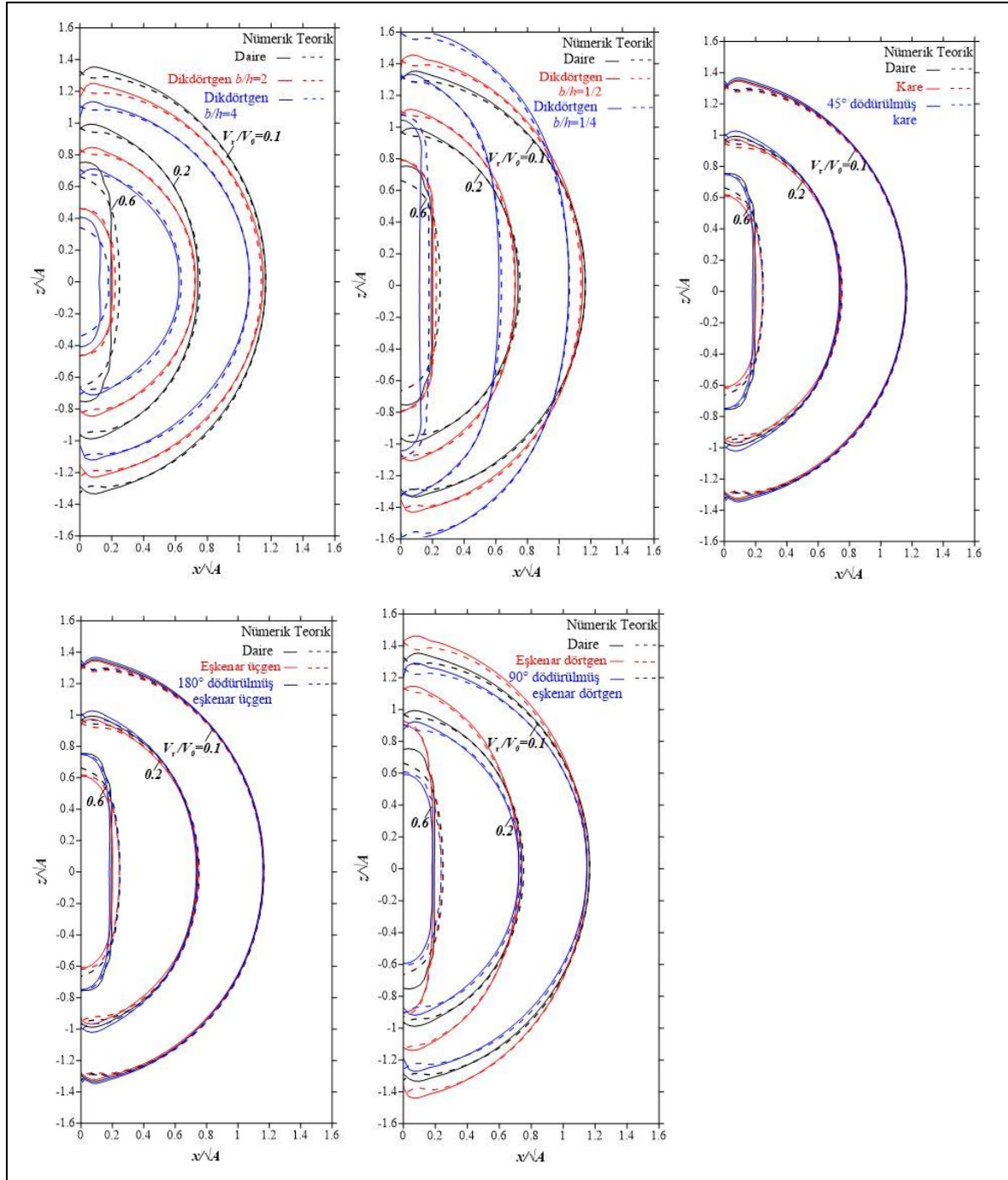
Şekil 5.2'de, x - z düzlemindeki ($y=0$) eş-hız eğrileri, akım sınırlarının engel etkisi olmadığı durumlarda (ölü-son duvarın etkisi hariç) çeşitli ağız tipleri için karşılaştırılmıştır. Eş-hız eğrilerinin şekilleri, ağza yakın bölgede dairesel, kare, üçgen ve eşkenar dörtgen ağızlar için V_r/V_0 'a bağlı olarak yarı-eliptik olduğu görülmüştür. $b/h > 1$ olan dikdörtgen ağızlar için, eş-hız eğrilerinin şekli de ağza yakın bölgede yarı-eliptiktir ve boyutsuz hız değerleri,

akım alanındaki tüm noktalar için dairesel ağızından daha düşüktür. Bununla birlikte, $b/h < 1$ olan dikdörtgensel ağızlar için bu eliptik şekil bozulmuş ve merkez bölgedeki maksimum hız bölgesi düşey yönde uzanmıştır. Bu nedenle, özellikle büyük V_r/V_0 (veya küçük $x/\sqrt{A}$) değerleri için merkez bölgede üniform benzeri bir hız dağılımı gözlemlenmiştir. Örneğin, $b/h = 0.25$ için, V_r/V_0 'a bağlı olarak, $z/\sqrt{A} \approx 1$ (veya -1) bölgesine kadar maksimum hız değerleri görülebilmektedir. Ağız merkezinden olan düşey mesafe arttıkça, ağızdaki hız dağılım etkisi nedeniyle boyutsuz hız değerleri dairesel ağızından daha büyük hale gelmiştir. Bu nedenle, hava çekirdekli çevrıntiler yoluyla ağza hava girişi veya askıdaki sedimentin ağza doğru sürüklenmesi olayları, $b/h < 1$ olan dikdörtgen ağızlarda, ağızların üst ve alt sınırlarının dışındaki yüksek-hız bölgesi nedeniyle dairesel, kare, eşkenar dörtgen veya üçgen ağızlarla karşılaştırıldığında daha kolay olabileceği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, merkezi bölgede, dairesel ağza ait hız değerleri, $b/h < 1$ olan dikdörtgen ağızından daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. V_r/V_0 değeri azaldıkça (veya $x/\sqrt{A}$ arttıkça), bu üniform benzeri hız bölgesi kaybolmaya başlamıştır.

Yarı eliptik hız dağılımı, x - z düzlemindeki asimetric şekli nedeniyle üçgen ağızlar için geçerli değildir. Merkez bölgede, üçgen ağızlar için x - z düzleminde boyutsuz hız, dairesel ağza çok yakındır. Eşkenar üçgen ağız için x - z düzlemindeki boyutsuz hızın, dairesel ağza kıyasla x - z düzlemindeki üst bölgelerde daha büyük olduğu görülmüştür (tersi durum, 180° döndürülmüş eşkenar üçgen ağız için daha alt bölgeler için geçerlidir).

Kare ve 45° döndürülmüş kare ağızlar için, x - z düzleminde boyutsuz hız için birbirlerine çok yakın değerler elde edilmiştir. Büyük V_r/V_0 değerlerinde, 45° döndürülmüş kare ağız için hız değerleri, kare ağza kıyasla dairesel ağza çok daha benzer hale gelmiştir. Eşkenar dörtgen ve 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen ağızlar için de benzer değerler hesaplanmıştır. Bununla birlikte, z -yönündeki üst ve alt bölgelerde, boyutsuz hız dairesel ağızla karşılaştırıldığında eşkenar dörtgen için daha büyük ve 90° döndürülmüş eşkenar dörtgen için daha küçüktür.

Teorik sonuçlar genellikle sayısal sonuçlarla uyum göstermiştir. Hız değerleri arttıkça kayma gerilmelerinin artmasından dolayı teorik ve sayısal sonuçlar arasındaki fark daha belirgin hale gelmiştir. Teorik eğrilerin aksine, hız değerlerine ait sayısal sonuçlar, kaymama sınır koşulu nedeniyle (no-slip boundary condition) ağızların sınırları dışındaki ölü-son duvarına yakın bölgelerde düşüş göstermiştir.



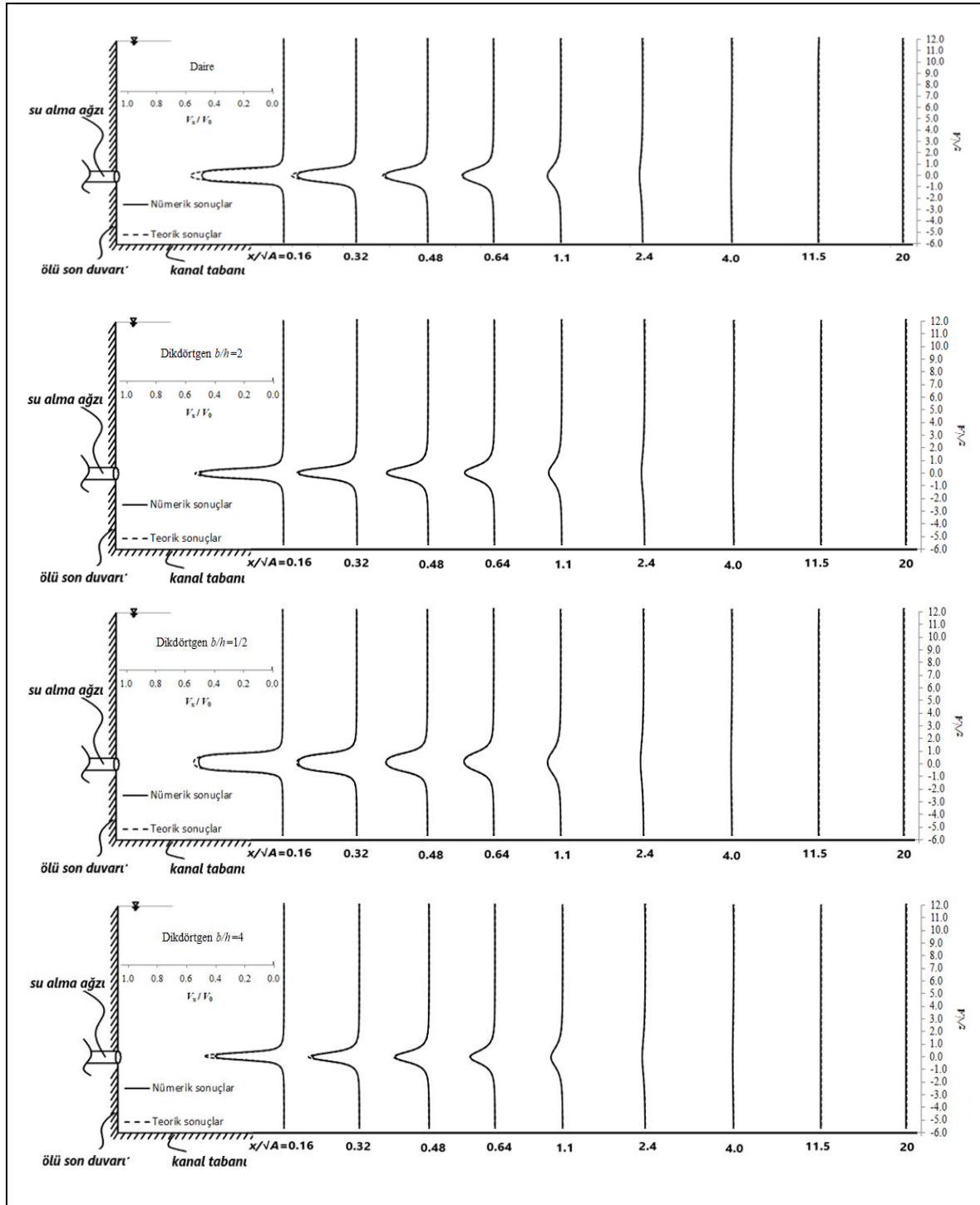
Şekil 5.2 x-z düzleminde sınır etkisi olmayan durumlarda çeşitli ağız geometrileri için bileşke hızın karşılaştırılması

Çizelge 5.1’de, V_r/V_0 değerlerine bağlı olarak, çeşitli ağız tiplerinin membasında x-z düzlemindeki eş hız eğrilerine uydurulabilen yarım-elipslerin uzun ve kısa eksenlerinin uzunlukları ve oranı gösterilmiştir. Bu tabloda, yarım elipslerin eksen uzunluklarının oranlarının sabit olmadığı ve V_r/V_0 ile değiştiği gösterilmiştir. V_r/V_0 azaldıkça, elipslerin eksen uzunluklarının oranı 1’e yaklaşmış, diğer bir deyişle eş-hız eğrileri yarım küresel hale gelmiştir.

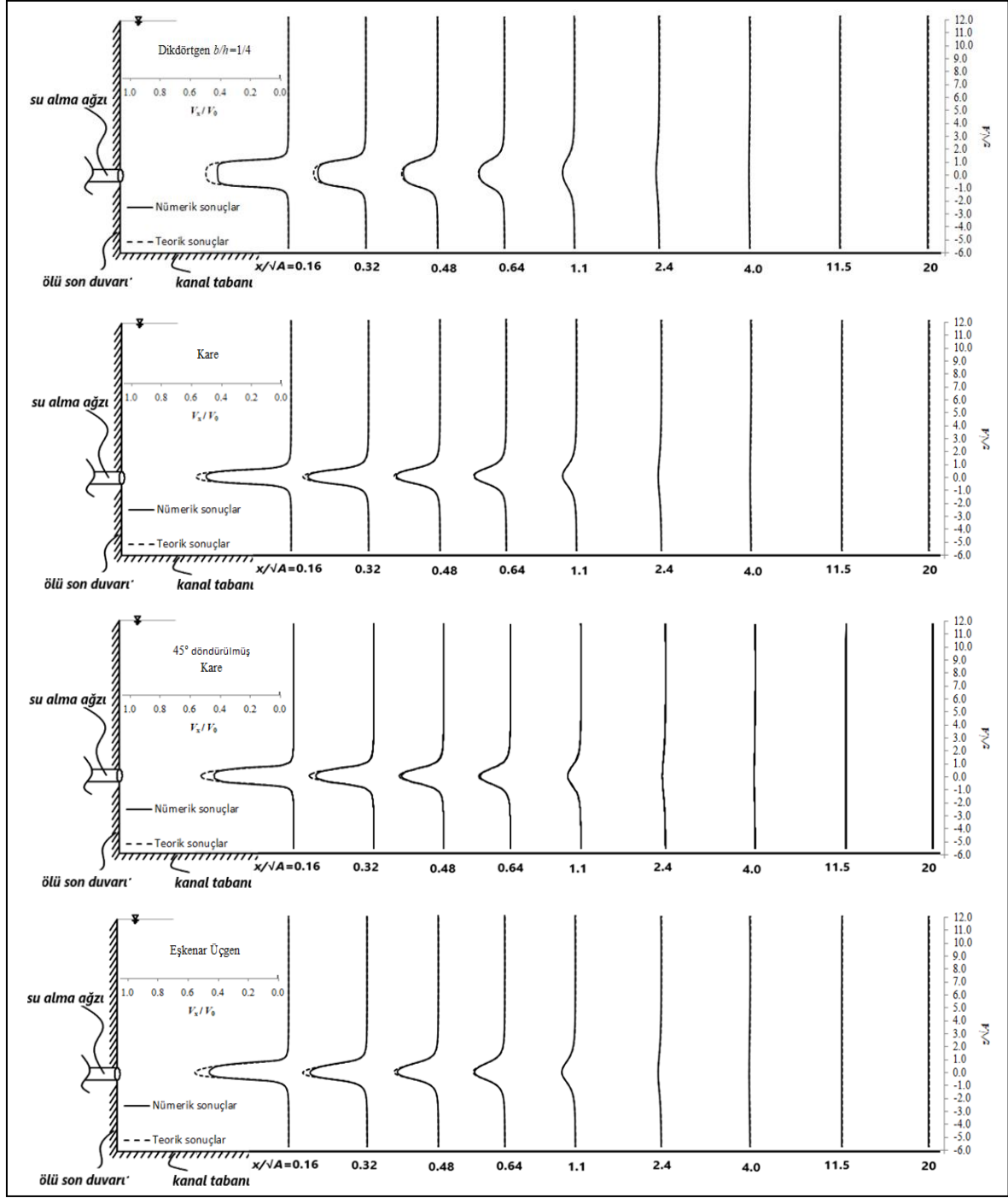
Çizelge 5.1. x-z düzlemindeki yarı-eliptik eş-hız eğrilerinin uzun ve kısa eksenlerinin boyutsuz uzunlukları

Ağız tipi	V_r/V_0	Uzun eksenin boyutsuz uzunluğu	Kısa eksenin boyutsuz uzunluğu	Oran
Daire	0,1	1,29	1,18	1,09
	0,2	0,96	0,76	1,26
	0,6	0,67	0,27	2,48
Dikdörtgen $b/h= 2/1$	0,1	1,24	1,13	1,10
	0,2	0,85	0,71	1,20
	0,6	0,46	0,20	2,30
Dikdörtgen $b/h= 1/2$	0,1	1,40	1,14	1,23
	0,2	1,09	0,72	1,51
	0,6	0,79	0,22	3,59
Dikdörtgen $b/h= 4/1$	0,1	1,11	1,05	1,06
	0,2	0,70	0,61	1,15
	0,6	0,34	0,18	1,89
Dikdörtgen $b/h= 1/4$	0,1	1,62	1,06	1,53
	0,2	1,34	0,63	2,13
	0,6	1,06	0,15	7,07
Kare	0,1	1,30	1,16	1,12
	0,2	0,95	0,74	1,28
	0,6	0,60	0,22	2,73
45° döndürülmüş kare	0,1	1,31	1,16	1,13
	0,2	0,98	0,74	1,32
	0,6	0,74	0,22	3,36
Dörtgen	0,1	1,41	1,14	1,24
	0,2	1,10	0,72	1,53
	0,6	0,89	0,20	4,45
90° döndürülmüş dörtgen	0,1	1,28	1,13	1,13
	0,2	0,92	0,71	1,30
	0,6	0,59	0,22	2,68

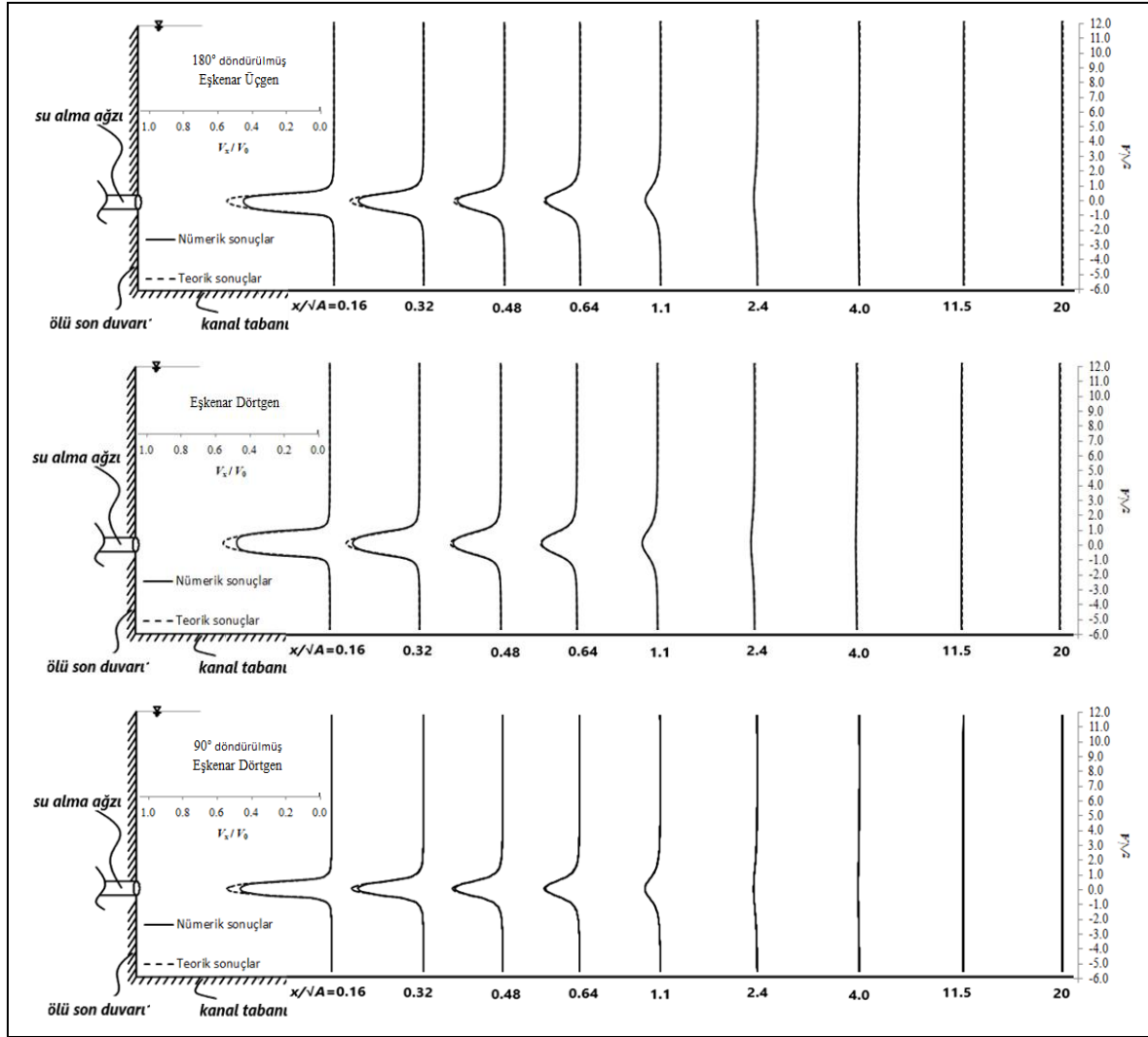
Çeşitli x mesafeleri için x-z düzlemindeki yatay ve düşey hız değişimleri sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4'de çeşitli ağız tipleri için verilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı üzere, yatay (V_x) ve düşey hızlar (V_z), $x/\sqrt{A} \geq 2,4$ ise tüm ağız tipleri için sıfır olma eğilimi göstermiştir. Ayrıca, düşey hızlar ise $z/\sqrt{A} \geq 5$ (ya da $z/\sqrt{A} \leq -5$) genellikle sönümleşmiştir. Benzer şekilde incelemesi yapılan kanal tabanı ve yan duvar sınır etkisi altında incelenen on bir farklı geometri ağız için de yatay ve düşey hız bileşenleri elde edilmiş olup EKLER kısmında verilmiştir.



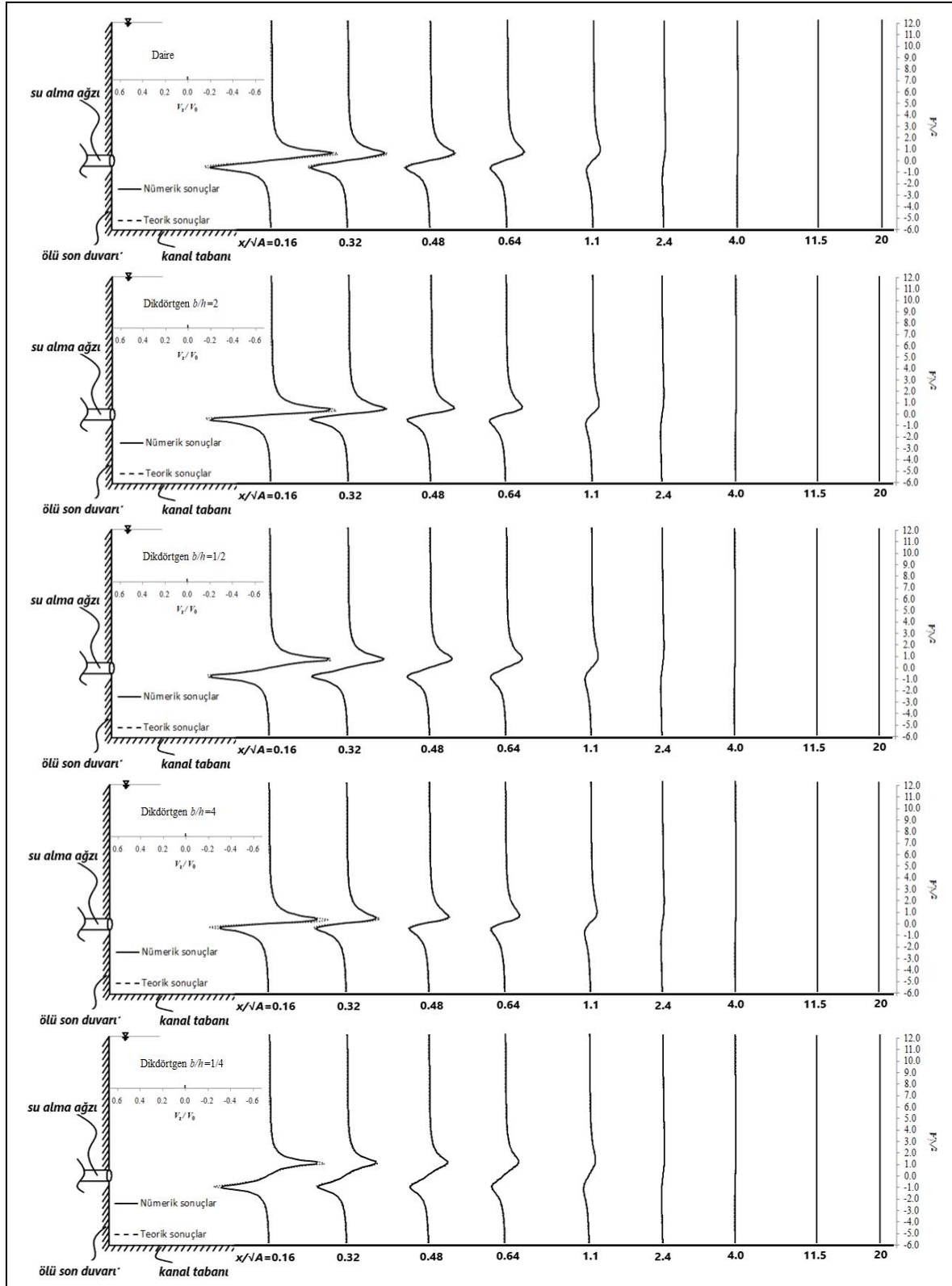
Şekil 5.3. x - z düzleminde yatay hız dağılımları



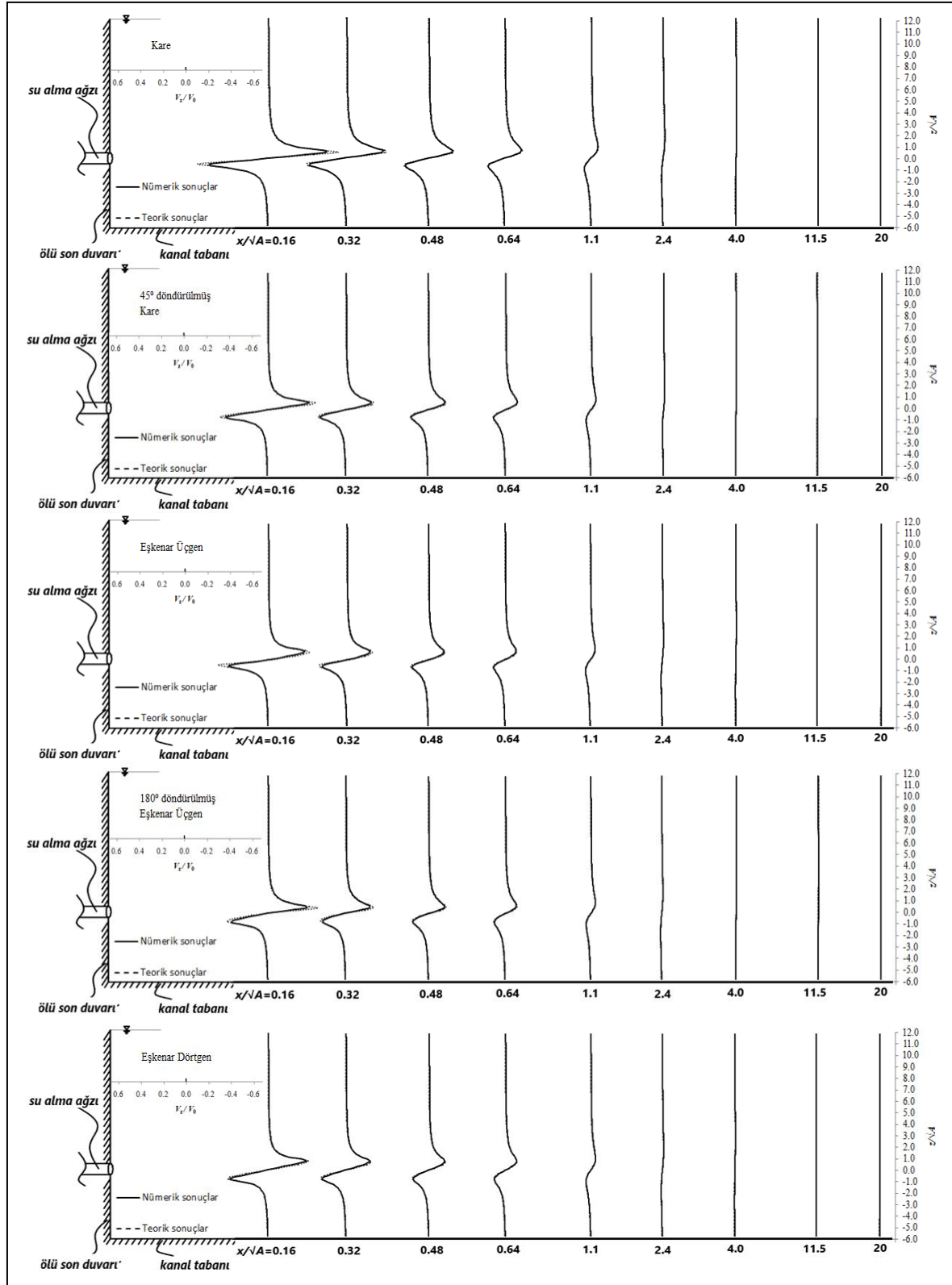
Şekil 5.3. (devam) x - z düzleminde yatay hız dağılımları



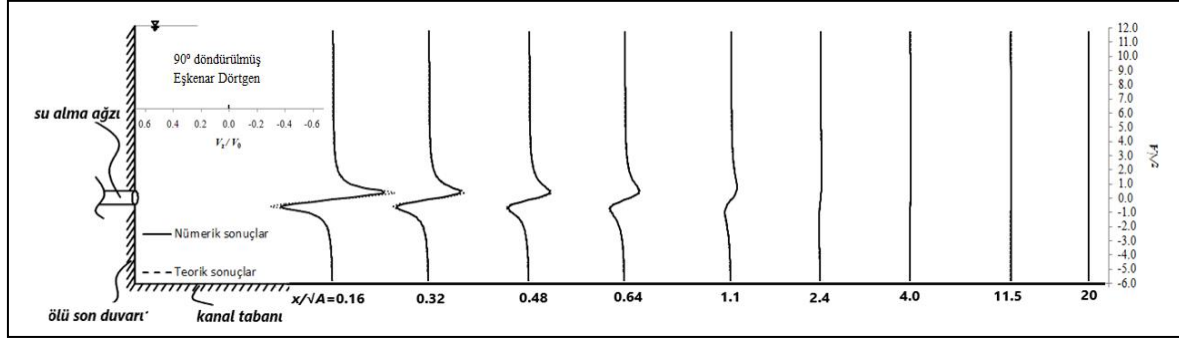
Şekil 5.3. (devam) $x-z$ düzleminde yatay hız dağılımları



Şekil 5.4. x-z düzleminde düşey hız dağılımları

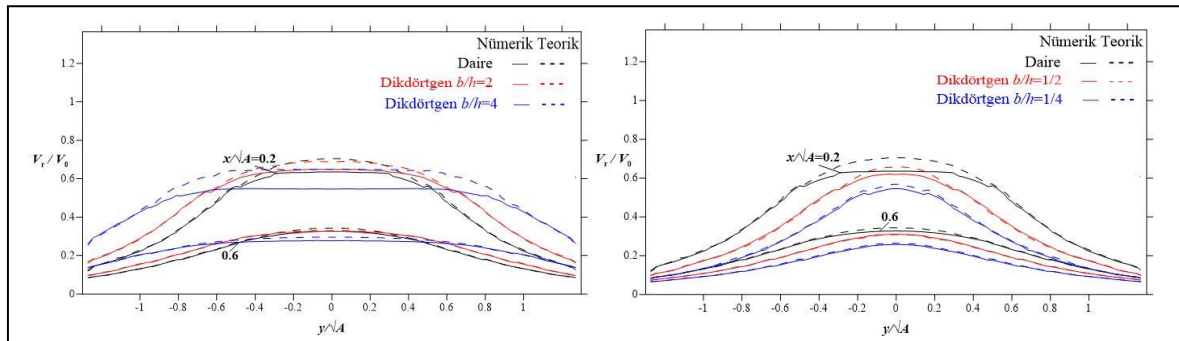


Şekil 5.4. (devam) x-z düzleminde düşey hız dağılımları

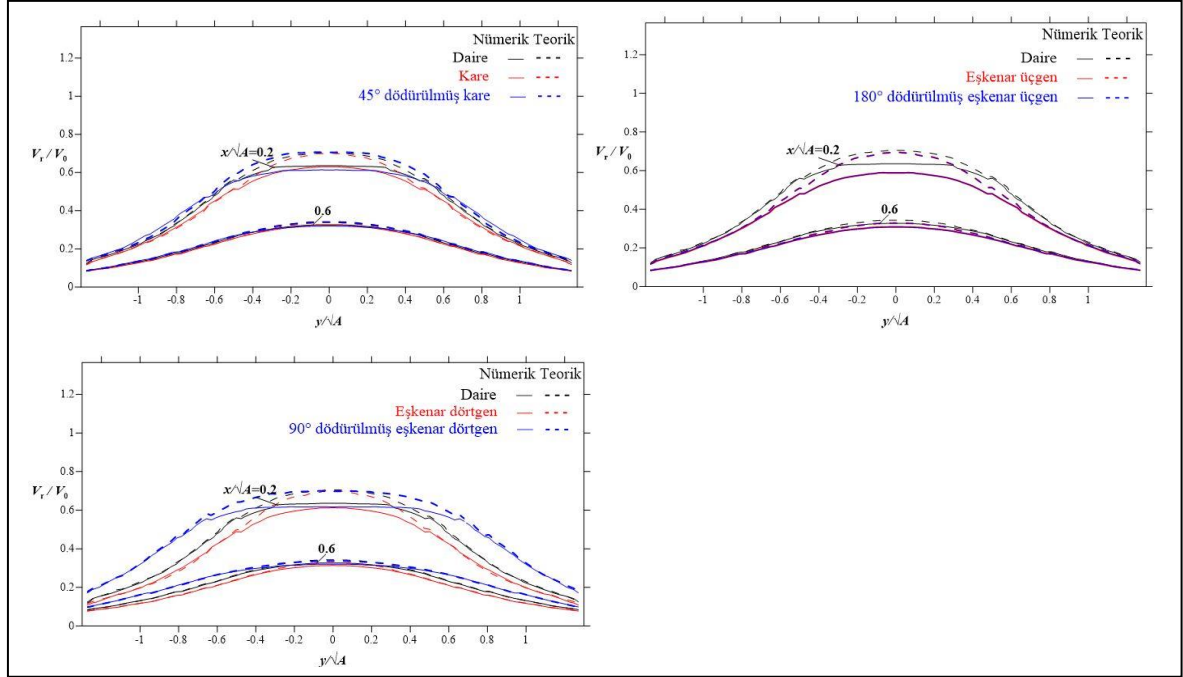


Şekil 5.4. (devam) x-z düzleminde düşey hız dağılımları

x-y düzleminde ($z = 0$) boyutsuz hız dağılımı Şekil 5.5'te verilmiştir. $b/h > 1$ olan dikdörtgen ağızlar için, $x/\sqrt{A}$ değerlerine bağlı olarak, hız değerleri $y/\sqrt{A} \geq 0,5$ (ya da $y/\sqrt{A} \leq -0,5$)'de dairesel ağza göre daha büyükken, diğer bölgelerde (merkezi bölge) dairesel ağız için daha büyük hızlar elde edilmiştir. Öte yandan, $b/h < 1$ olan dikdörtgen ağızlar için boyutsuz hız değerleri her zaman dairesel ağızdan daha küçüktür. Kare ve 45° döndürülmüş kare ağızlar için hız değerleri birbirine ve dairesel ağza çok yakın çıkmıştır. Bu çalışmada incelenen her iki üçgen ağız, x-y düzleminde neredeyse aynı sonuçları vermiştir. Küçük $x/\sqrt{A}$ değerlerinde, üçgen ağızlar için elde edilen hız değerleri, dairesel ağza ait değerlerden daha küçüktür, ancak $x/\sqrt{A}$ arttıkça hızlardaki fark kaybolmuştur. Ayrıca, eşkenar dörtgen ağız için x-y düzlemindeki hız değerleri, 180° döndürülmüş eşkenar dörtgenden daha büyük çıkmıştır. x-z düzlemindeki sonuçlara benzer şekilde, teorik sonuçlar genellikle sayısal sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Bununla birlikte, hız arttıkça, kayma gerilmelerindeki artış nedeniyle sayısal ve teorik sonuçlar arasındaki fark daha fazla belirginleşmiştir.



Şekil 5.5. x-y düzleminde sınır etkisi olmayan çeşitli ağız geometrileri için bileşke hızın karşılaştırılması



Şekil 5.5. (devam) x-y düzleminde sınır etkisi olmayan çeşitli ağız geometrileri için bileşke hızın karşılaştırılması

x-z düzlemindeki hız dağılımına benzer şekilde, çeşitli ağız tipleri için V_r/V_0 değerlerine bağlı olarak x-y düzlemindeki eş-hız eğrilerine de yarım-elipsler uydurulmuştur. Çizelge 5.2’de, V_r/V_0 değerlerine bağlı olarak, çeşitli ağız tiplerinin membasındaki x-y düzlemindeki hız dağılımlarına uydurulabilen yarım-elipslerin uzun ve kısa eksenlerinin uzunlukları ve oranları gösterilmiştir. Bu tabloda, yarım elipslerin eksen uzunluklarının oranlarının sabit olmadığı ve V_r/V_0 ile değiştiği gösterilmiştir. V_r/V_0 azaldıkça, elipslerin eksen uzunluklarının oranı 1’e yaklaşmış, diğer bir deyişle eş-hız eğrileri küresel hale gelmiştir.

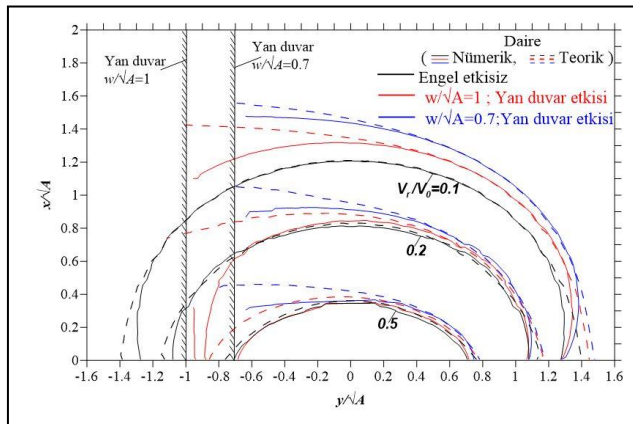
Çizelge 5.2. x-y düzlemindeki yarı-eliptik eş-hız eğrilerinin uzun ve kısa eksenlerinin boyutsuz uzunlukları

Ağız tipi	V_r/V_o	Uzun eksenin boyutsuz uzunluğu	Kısa eksenin boyutsuz uzunluğu	Oran
Daire	0,1	1,32	1,21	1,09
	0,2	1,06	0,83	1,28
	0,5	0,66	0,36	1,83
Dikdörtgen $b/h= 2/1$	0,1	1,51	1,20	1,26
	0,2	1,14	0,82	1,39
	0,5	0,70	0,35	2,00
Dikdörtgen $b/h= 1/2$	0,1	1,27	1,19	1,07
	0,2	0,88	0,79	1,11
	0,5	0,41	0,25	1,64
Dikdörtgen $b/h= 4/1$	0,1	1,76	1,14	1,54
	0,2	1,47	0,74	1,99
	0,5	0,98	0,26	3,77
Dikdörtgen $b/h= 1/4$	0,1	1,14	1,11	1,03
	0,2	0,77	0,71	1,08
	0,5	0,30	0,19	1,58
Kare	0,1	1,37	1,20	1,14
	0,2	1,03	0,80	1,29
	0,5	0,56	0,30	1,87
45° döndürülmüş kare	0,1	1,39	1,22	1,14
	0,2	1,11	0,83	1,34
	0,5	0,67	0,32	2,09
Üçgen	0,1	1,40	1,20	1,17
	0,2	1,01	0,78	1,29
	0,5	0,47	0,25	1,88
180° döndürülmüş üçgen	0,1	1,40	1,20	1,17
	0,2	1,01	0,78	1,29
	0,5	0,49	0,26	1,88
Dörtgen	0,1	1,32	1,19	1,11
	0,2	1,00	0,78	1,28
	0,5	0,52	0,27	1,93
90° döndürülmüş dörtgen	0,1	1,49	1,21	1,23
	0,2	1,24	0,81	1,53
	0,5	0,85	0,33	2,58

5.2. Sınır Etkisi Olan Durumların Analizi

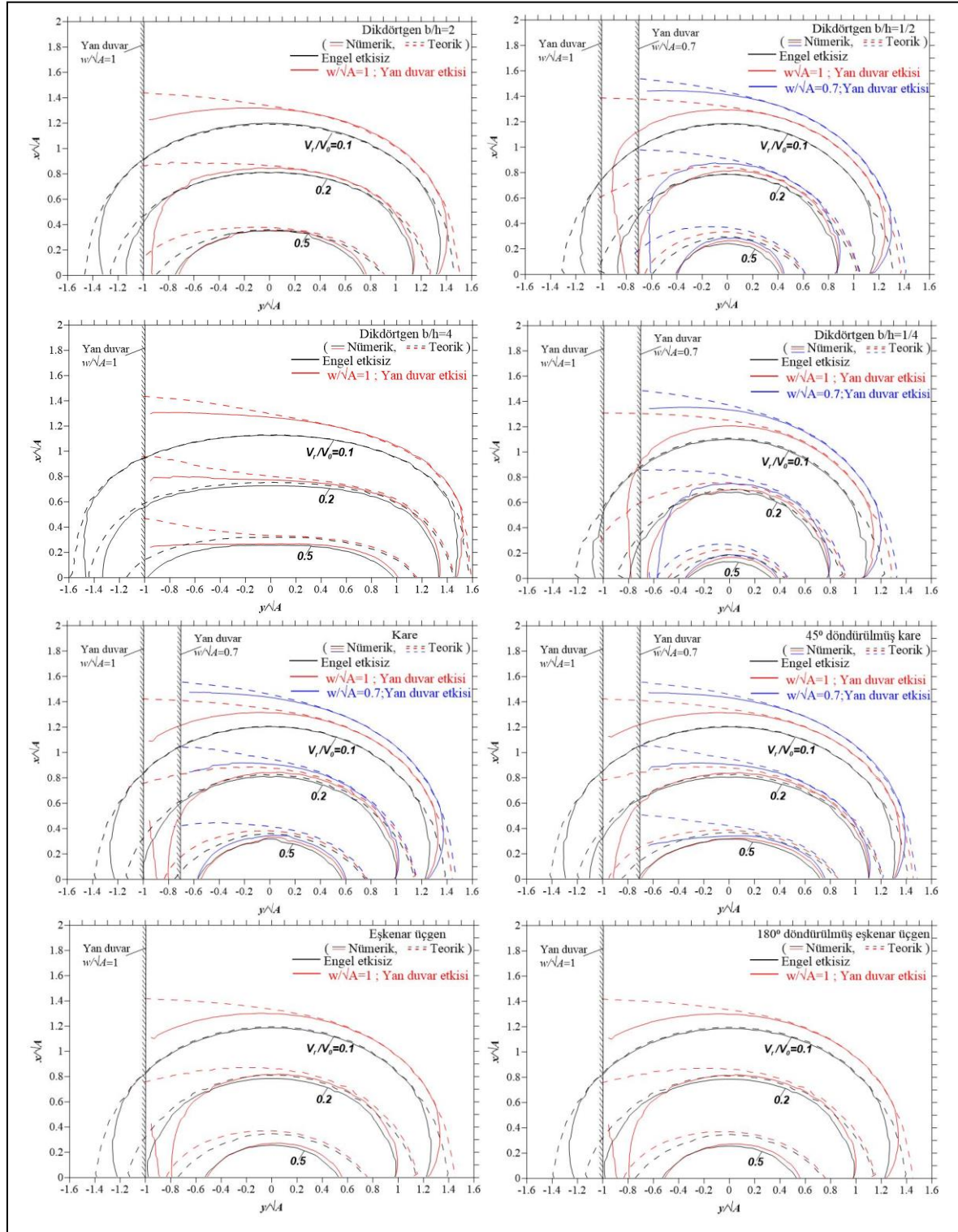
Kanal tabanı ve kanal yan duvarlarının hız dağılımları üzerindeki akım sınırı etkileri, tüm ağız tipleri için incelenmiştir. Ağız geometrik merkezleri ile akım sınırları arasındaki boyutsuz mesafeler $c/\sqrt{A} = w/\sqrt{A} = 1$ ve 0,7 olarak seçilmiştir (c ve w = sırasıyla ağız merkezi ile kanal tabanı, kanal yan duvarı arasındaki mesafeleri gösterir).

Kanal yan duvarının x-y düzleminde ($z = 0$) eş-hız eğrileri üzerindeki etkisi, Şekil 5.6'da farklı ağız şekilleri için sunulmuştur (ağız merkezleri ile kanal tabanı veya su yüzeyi arasındaki mesafeler, bu akım sınırlarının hiçbir etkisi olmayacak kadar büyüktür). Tüm ağız şekilleri için, boyutsuz hız azaldıkça yan duvarın hız dağılımı üzerindeki etkisi artmıştır. Öte yandan, daha yüksek boyutsuz hızlarda yan duvar etkisi azalmıştır. Bu durumun nedeni şöyle açıklanabilir; hız azaldıkça, eş-hız eğrilerinin veya ilgili eş-potansiyel yüzeylerin yarıçapı (veya boyutu) büyür ve eğer bu boyut yeterince genişlerse, bir yan duvar sınırı bu eş-potansiyel yüzeyle kesişir. Eş potansiyel yüzey üzerindeki alan kaybını telafi etmek ve süreklilik denklemini sağlamak için hız artmalıdır. Bu nedenle, tüm ağız tipleri için bir yan duvar sınırı etkisi altında x-y düzlemindeki boyutsuz hız değerleri, yan duvara çok yakın bölge haricinde tüm akım alanında yan duvar etkisi olmayan değerlerden daha büyüktür. Bu etkiler, yan duvarlar ile ağız merkezi arasındaki mesafe azalırsa daha belirgin hale gelmektedir. Şekil 5.6'dan görülebileceği gibi, potansiyel akım çözümü ile sayısal sonuçlar arasındaki uyumun, yan duvara yakın bölgeler dışında iyi olduğu bulunmuştur. Ayrıca, x-y düzlemindeki eş-hız eğrilerinin şekli, yan duvarın etkisinden dolayı simetrik değildir.

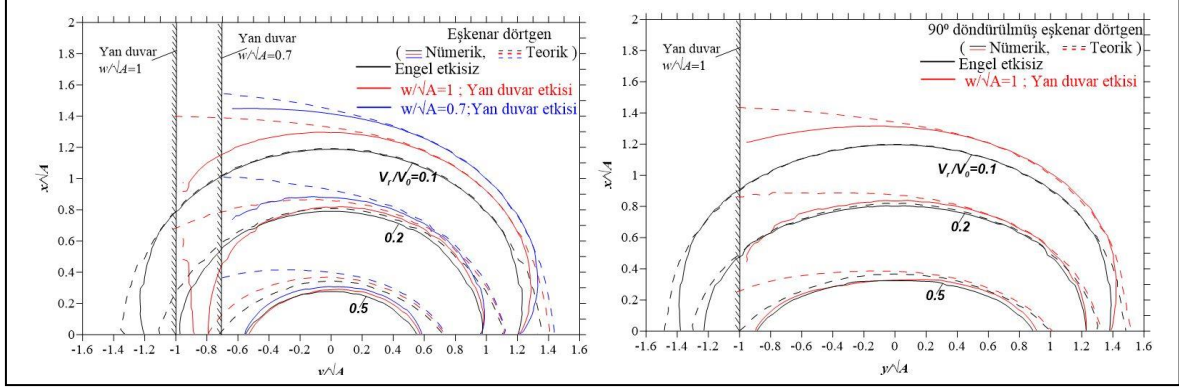


Şekil 5.6. x-y düzlemindeki çeşitli ağız geometrileri için yan duvar etkisi durumunda eş hız eğrileri

Şekil 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9'da, bazı ağızların düşey veya yatay yöndeki boyutları büyük olduğu için $w/\sqrt{A} = c/\sqrt{A} = 0,7$ ile ilgili bazı analizler yapılamamıştır.

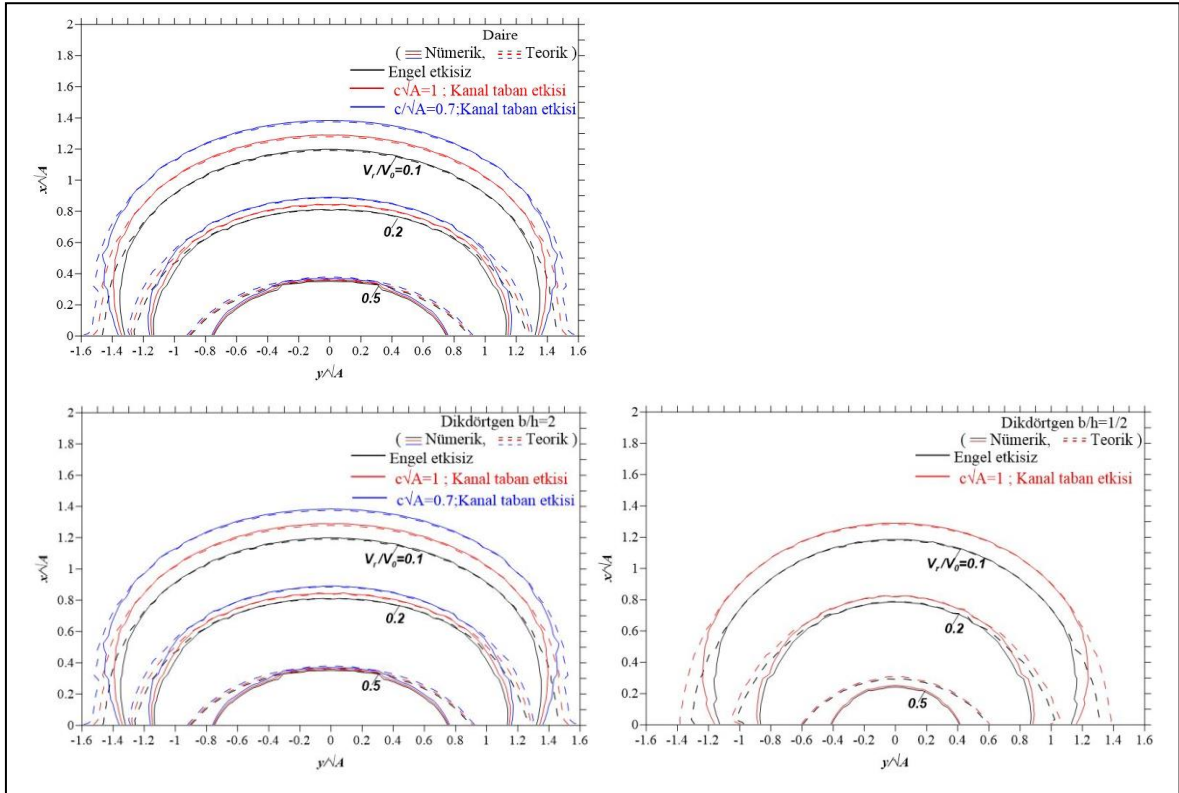


Şekil 5.6. (devam) x-y düzlemindeki çeşitli ağız geometrileri için yan duvar etkisi durumunda eş hız eğrileri

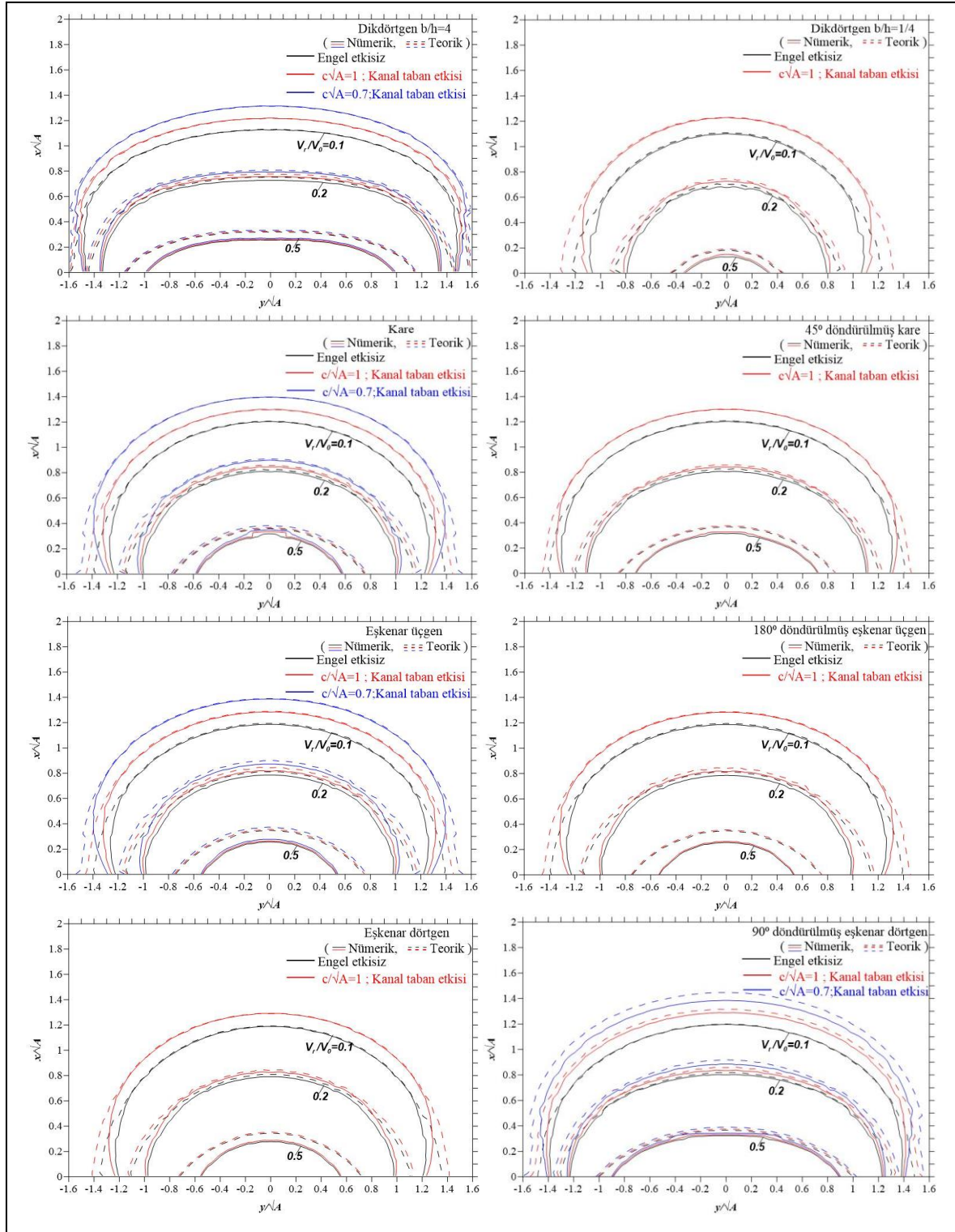


Şekil 5.6. (devam) x-y düzlemindeki çeşitli ağız geometrileri için yan duvar etkisi durumunda eş hız eğrileri

Kanal tabanının çeşitli ağız tipleri için x-y düzlemindeki ($z = 0$) eş-hız eğrileri üzerindeki etkisi Şekil 5.7'de gösterilmiştir (ağız merkezleri ile yan duvarlar veya su yüzeyi arasındaki mesafeler, bu akım sınırlarının hiçbir etkisi olmayacak kadar büyüktür). Kanal tabanı sınır etkisinden dolayı boyutsuz hız değerleri, özellikle düşük hızlarda sınır etkisi olmayan durumundan daha büyüktür (bunun nedeni bir önceki şeklin açıklamasında verilmişti). Eş-hız eğrilerinin şekilleri ise simetriktir.

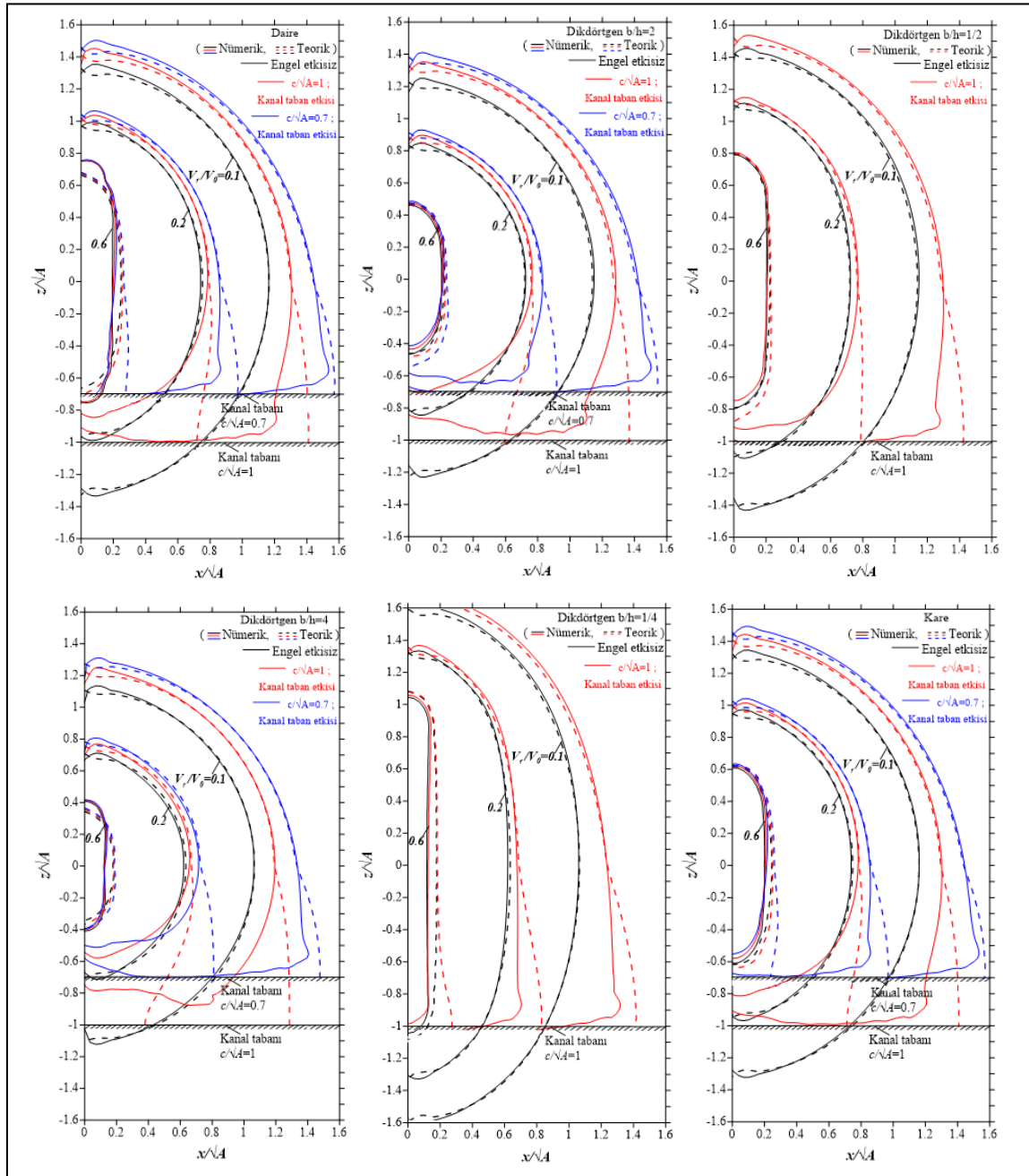


Şekil 5.7. x-y düzleminde çeşitli ağız geometrileri için kanal taban etkisi durumunda eş hız eğrileri

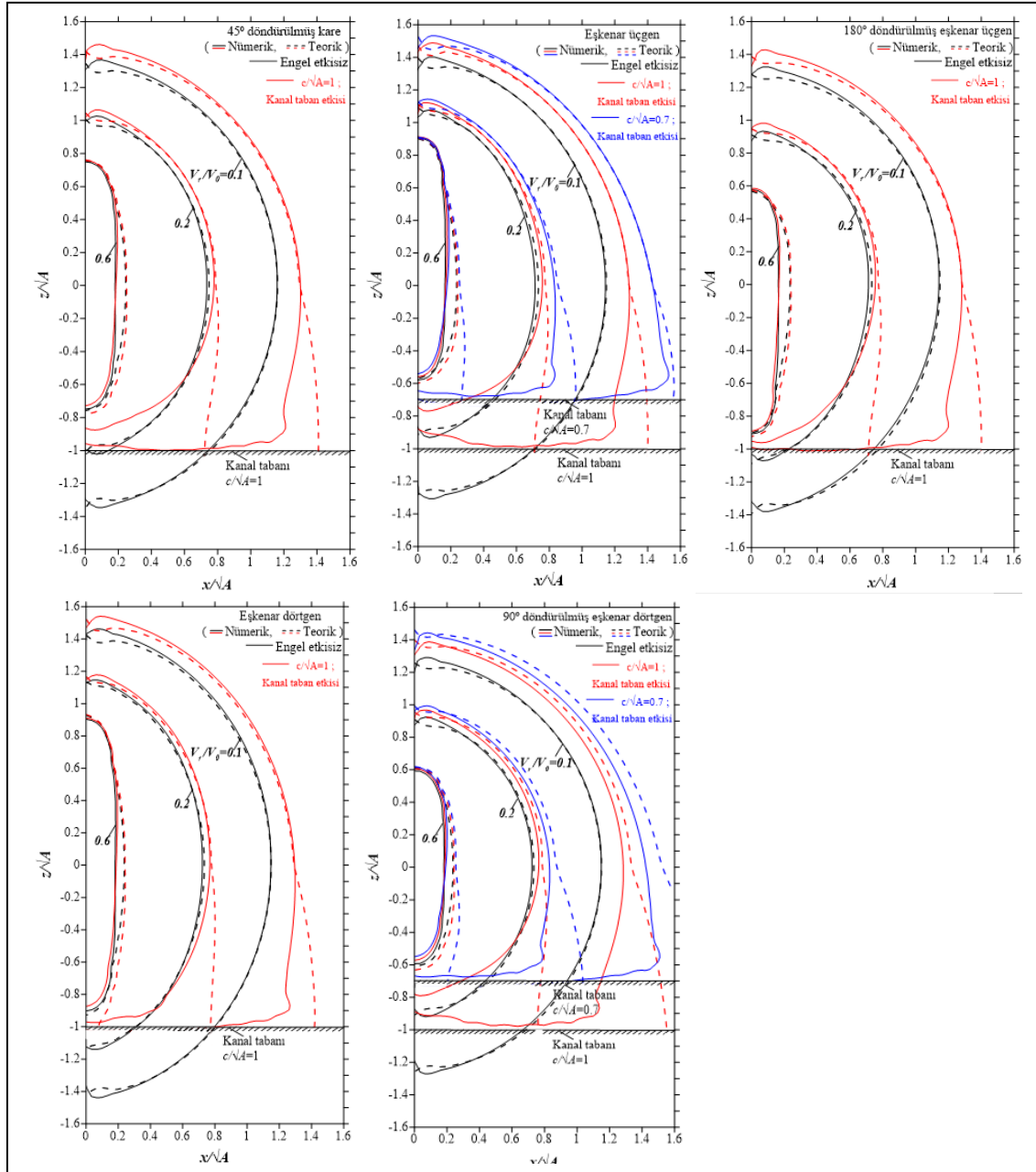


Şekil 5.7. (devam) x-y düzleminde çeşitli ağız geometrileri için kanal taban etkisi durumunda eş hız eğrileri

Kanal tabanının x - z düzleminde ($y = 0$) eş hız eğrileri üzerindeki akım sınırı etkileri Şekil 5.8'de incelenmiştir (ağız merkezleri ile yan duvarlar veya su yüzeyi arasındaki mesafeler bu sınırların etkisi olmayacak kadar büyüktür). Kanal tabanının etkisi altında x - z düzlemindeki boyutsuz hız değerleri, kanal tabanından uzak bölgede taban engel etkisi olmayan değerlerden daha büyüktür. Tabana yakın bölgelerde sayısal ve teorik sonuçlar arasındaki farklar büyüktür. x - z düzlemindeki eş-hız eğrilerinin şekli, kanal tabanının etkisinden dolayı simetrik değildir.

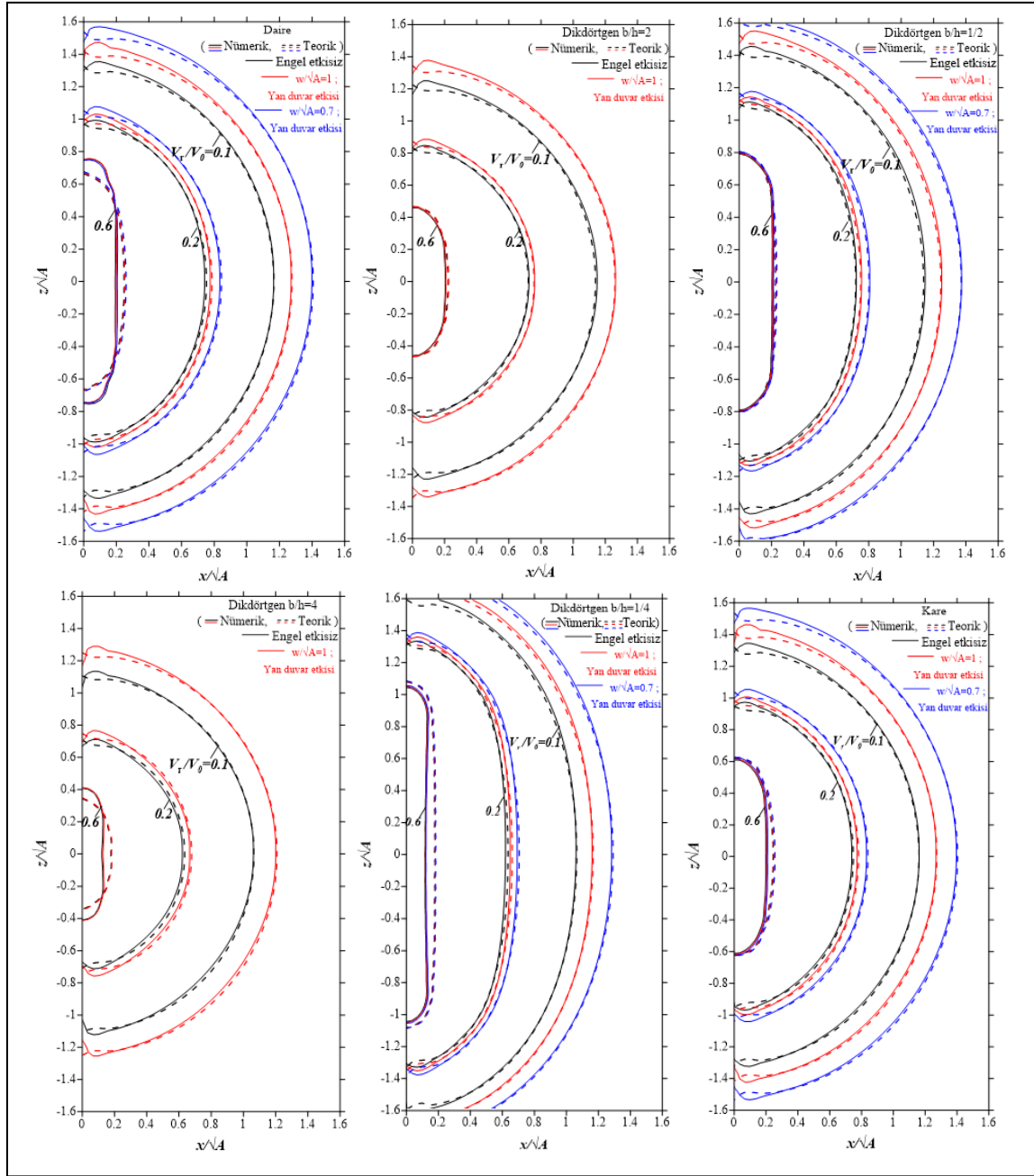


Şekil 5.8. x - z düzleminde çeşitli giriş geometrileri için kanal taban etkisi durumunda eş hız eğrileri

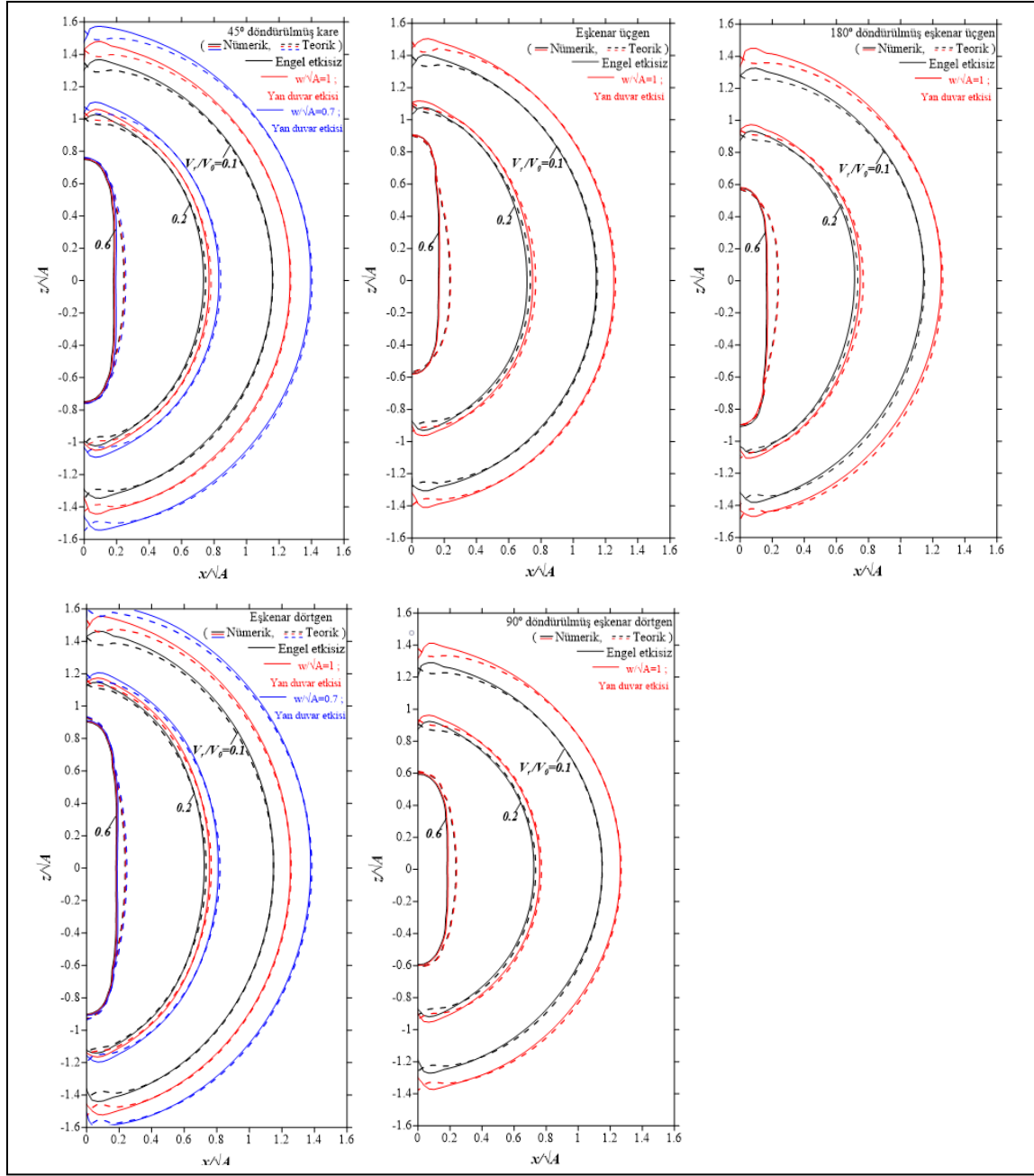


Şekil 5.8. (devam) x - z düzleminde çeşitli giriş geometrileri için kanal taban etkisi durumunda eş hız eğrileri

Kanal yan duvarlarının çeşitli ağız tipleri için x - z düzleminde ($y = 0$) eş-hız eğrileri üzerindeki etkisi Şekil 5.9'da gösterilmiştir (ağız merkezleri ile yan duvarlar veya su yüzeyi arasındaki mesafeler, bu akım sınırlarının hiçbir etkisi olmayacak kadar büyüktür). Kanal yan duvar engelinden dolayı boyutsuz hız değerleri, özellikle düşük hızlarda, engel etkisi olmayan durumdan daha büyüktür. Eş-hız eğrilerinin şekli, üçgen ağızlar dışında simetriktir.



Şekil 5.9. x - z düzlemindeki çeşitli ağız geometrileri yan duvar etkisi durumunda eş hız eğrileri



Şekil 5.9. (devam) x - z düzlemindeki çeşitli ağız geometrileri yan duvar etkisi durumunda eş hız eğrileri

Çizelge 5.3 ve 5.4'te ağızın yakınılarında seçilen çeşitli noktalarda tüm ağızlara ait sınır etkili ve sınır etkisiz durumlar için boyutsuz hız değerleri verilmiştir. Bu tablolardan da görüldüğü üzere kanal tabanı ve yan duvar engel etkisi arttıkça incelenen tüm ağız şekilleri için hız değerleri artmaktadır.

Çizelge 5.3. x-z düzleminde belirli noktalardaki boyutsuz hız değerleri (tablodaki boş alanlar düşey yöndeki ağzın kesit boyutları büyük olduğu için $c/\sqrt{A}=0,7$ veya $w/\sqrt{A}=0,7$ ile ilgili bazı analizler yapılamamıştır.)

x-z düzlemi	Noktalar		Engel etkisiz durumunda boyutsuz hız	$w/\sqrt{A}=1$ Duvar engeli durumunda boyutsuz hız	$c/\sqrt{A}=1$ Taban engeli durumunda boyutsuz hız	$w/\sqrt{A}=0,7$ Yan Duvar engeli durumunda boyutsuz hız	$c/\sqrt{A}=0,7$ Taban engeli durumunda boyutsuz hız
Ağız tipi	$x/\sqrt{A}$	$z/\sqrt{A}$	V_r/V_0	V_r/V_0	V_r/V_0	V_r/V_0	V_r/V_0
Daire	0,32	-0,64	0,326	0,330	0,286	0,348	0,354
	0,64	-0,32	0,226	0,238	0,233	0,256	0,268
	1,11	0	0,108	0,121	0,125	0,138	0,143
	0,64	0,32	0,228	0,239	0,244	0,257	0,260
	0,32	0,64	0,329	0,339	0,348	0,351	0,363
Dikdörtgen $b/h=2/1$	0,32	-0,64	0,237	0,249	0,192		0,213
	0,64	-0,32	0,211	0,224	0,214		0,241
	1,11	0	0,105	0,120	0,122		0,139
	0,64	0,32	0,212	0,225	0,228		0,244
	0,32	0,64	0,238	0,251	0,258		0,272
Dikdörtgen $b/h=1/2$	0,32	-0,64	0,386	0,396	0,362	0,410	
	0,64	-0,32	0,225	0,236	0,237	0,252	
	1,11	0	0,105	0,118	0,123	0,133	
	0,64	0,32	0,227	0,237	0,242	0,253	
	0,32	0,64	0,389	0,399	0,407	0,413	
Dikdörtgen $b/h=4$	0,32	-0,64	0,185	0,201	0,142		0,155
	0,64	-0,32	0,173	0,189	0,175		0,196
	1,11	0	0,093	0,110	0,109		0,124
	0,64	0,32	0,174	0,190	0,190		0,204
	0,32	0,64	0,185	0,203	0,204		0,217
Dikdörtgen $b/h=1/4$	0,32	-0,64	0,356	0,365	0,376	0,375	
	0,64	-0,32	0,190	0,201	0,214	0,214	
	1,11	0	0,093	0,105	0,114	0,119	
	0,64	0,32	0,192	0,202	0,208	0,215	
	0,32	0,64	0,359	0,367	0,376	0,378	
Kare	0,32	-0,64	0,296	0,307	0,254	0,325	0,312
	0,64	-0,32	0,224	0,236	0,231	0,254	0,266
	1,11	0	0,107	0,121	0,125	0,137	0,143
	0,64	0,32	0,226	0,237	0,242	0,255	0,258
	0,32	0,64	0,298	0,310	0,318	0,327	0,333

Çizelge 5.3. (devam) x-z düzleminde belirli noktalardaki boyutsuz hız değerleri (tablodaki boş alanlar düşey yöndeki ağzın kesit boyutları büyük olduğu için $c/\sqrt{A}=0,7$ veya $w/\sqrt{A}=0,7$ ile ilgili bazı analizler yapılamamıştır.)

45° döndürülmüş kare	0,32	-0,64	0,330	0,342	0,295	0,361	
	0,64	-0,32	0,223	0,235	0,230	0,254	
	1,11	0	0,107	0,121	0,124	0,137	
	0,64	0,32	0,225	0,236	0,241	0,255	
	0,32	0,64	0,333	0,345	0,352	0,364	
Üçgen	0,32	-0,64	0,269	0,281	0,227		0,275
	0,64	-0,32	0,214	0,226	0,221		0,255
	1,11	0	0,104	0,118	0,122		0,140
	0,64	0,32	0,215	0,227	0,231		0,248
	0,32	0,64	0,341	0,353	0,360		0,375
180° döndürülmüş üçgen	0,32	-0,64	0,339	0,350	0,312		
	0,64	-0,32	0,214	0,226	0,222		
	1,11	0	0,104	0,118	0,121		
	0,64	0,32	0,215	0,227	0,231		
	0,32	0,64	0,271	0,283	0,291		
Dörtgen	0,32	-0,64	0,367	0,378	0,343	0,393	
	0,64	-0,32	0,222	0,233	0,233	0,249	
	1,11	0	0,105	0,118	0,123	0,134	
	0,64	0,32	0,223	0,234	0,239	0,250	
	0,32	0,64	0,370	0,381	0,389	0,396	
90° döndürülmüş dörtgen	0,32	-0,64	0,270	0,283	0,227		0,266
	0,64	-0,32	0,214	0,227	0,219		0,248
	1,11	0	0,105	0,120	0,122		0,139
	0,64	0,32	0,216	0,228	0,232		0,247
	0,32	0,64	0,271	0,285	0,291		0,305

Çizelge 5.4. x-y düzleminde belirli noktalarındaki boyutsuz hız değerleri (tablodaki boş alanlar düşey yöndeki ağzın kesit boyutları büyük olduğu için $c/\sqrt{A}=0,7$ veya $w/\sqrt{A}=0,7$ ile ilgili bazı analizler yapılamamıştır.)

x-y düzlemi	Noktalar		Engel etkisiz durumunda boyutsuz hız	$w/\sqrt{A}=1$ Duvar engeli durumunda boyutsuz hız	$c/\sqrt{A}=1$ Taban engeli durumunda boyutsuz hız	$w/\sqrt{A}=0,7$ Yan Duvar engeli durumunda boyutsuz hız	$c/\sqrt{A}=0,7$ Taban engeli durumunda boyutsuz hız
Ağız tipi	$x/\sqrt{A}$	$y/\sqrt{A}$	V_r/V_0	V_r/V_0	V_r/V_0	V_r/V_0	V_r/V_0
Daire	0,32	-0,64	0,323	0,286	0,331	0,355	0,349
	0,64	-0,32	0,227	0,233	0,239	0,268	0,257
	1,11	0	0,108	0,124	0,123	0,143	0,139
	0,64	0,32	0,227	0,243	0,239	0,260	0,257
	0,32	0,64	0,323	0,345	0,331	0,360	0,349
Dikdörtgen $b/h=2/1$	0,32	-0,64	0,387	0,362	0,397		0,411
	0,64	-0,32	0,226	0,237	0,237		0,253
	1,11	0	0,105	0,123	0,119		0,134
	0,64	0,32	0,226	0,241	0,237		0,253
	0,32	0,64	0,387	0,406	0,397		0,411
Dikdörtgen $b/h=1/2$	0,32	-0,64	0,238	0,191	0,250	0,213	
	0,64	-0,32	0,211	0,214	0,224	0,240	
	1,11	0	0,105	0,121	0,121	0,138	
	0,64	0,32	0,211	0,228	0,224	0,244	
	0,32	0,64	0,238	0,258	0,250	0,272	
Dikdörtgen $b/h=4$	0,32	-0,64	0,358	0,378	0,366		0,376
	0,64	-0,32	0,191	0,215	0,202		0,215
	1,11	0	0,093	0,113	0,107		0,120
	0,64	0,32	0,191	0,208	0,202		0,215
	0,32	0,64	0,358	0,374	0,366		0,376
Dikdörtgen $b/h=1/4$	0,32	-0,64	0,185	0,142	0,201	0,155	
	0,64	-0,32	0,173	0,174	0,190	0,196	
	1,11	0	0,093	0,108	0,111	0,123	
	0,64	0,32	0,173	0,189	0,190	0,204	
	0,32	0,64	0,185	0,205	0,201	0,218	
Kare	0,32	-0,64	0,297	0,254	0,308	0,312	0,326
	0,64	-0,32	0,225	0,231	0,237	0,266	0,255
	1,11	0	0,107	0,124	0,122	0,142	0,138
	0,64	0,32	0,225	0,241	0,237	0,258	0,255
	0,32	0,64	0,297	0,318	0,308	0,333	0,326

Çizelge 5.4. (devam) x-y düzleminde belirli noktalardaki boyutsuz eş hız eğrileri (tablodaki boş alanlar düşey yöndeki ağzın kesit boyutları büyük olduğu için $c/\sqrt{A}=0,7$ veya $w/\sqrt{A}=0,7$ ile ilgili bazı analizler yapılamamıştır.)

45° döndürülmüş kare	0,32	-0,64	0,331	0,294	0,343	0,360	
	0,64	-0,32	0,224	0,230	0,236	0,265	
	1,11	0	0,107	0,123	0,122	0,142	
	0,64	0,32	0,224	0,240	0,236	0,257	
	0,32	0,64	0,331	0,352	0,343	0,369	
Üçgen	0,32	-0,64	0,286	0,247	0,297		0,313
	0,64	-0,32	0,215	0,222	0,226		0,244
	1,11	0	0,104	0,121	0,119		0,135
	0,64	0,32	0,215	0,231	0,226		0,244
	0,32	0,64	0,286	0,307	0,297		0,313
180° döndürülmüş üçgen	0,32	-0,64	0,286	0,247	0,297		
	0,64	-0,32	0,214	0,222	0,226		
	1,11	0	0,104	0,121	0,119		
	0,64	0,32	0,214	0,231	0,226		
	0,32	0,64	0,286	0,307	0,297		
Dörtgen	0,32	-0,64	0,271	0,227	0,284	0,266	
	0,64	-0,32	0,215	0,219	0,228	0,248	
	1,11	0	0,105	0,121	0,121	0,138	
	0,64	0,32	0,215	0,231	0,228	0,247	
	0,32	0,64	0,271	0,291	0,284	0,305	
90° döndürülmüş dörtgen	0,32	-0,64	0,369	0,344	0,380		0,394
	0,64	-0,32	0,222	0,233	0,234		0,250
	1,11	0	0,105	0,123	0,119		0,135
	0,64	0,32	0,222	0,238	0,234		0,250
	0,32	0,64	0,369	0,388	0,380		0,394

6. SONUÇLAR

Ağızların membasındaki hız dağılımı, su alma yapılarına hava veya sediment girişini etkiler. Su alma yapılarının tasarımında, farklı akım ve geometrik koşullar için akım alanındaki hız değişiminin elde edilmesi önemlidir. Bu çalışmada, ağız şekillerinin ağızların membasındaki hız dağılımına etkisi hem teorik hem de sayısal olarak incelenmiştir. İncelemeler gerek sınır etkisiz (ölü-son duvarı hariç) gerekse akım sınırlarının (kanal tabanı ve kanal yan duvarı) etkili olduğu durumlar için yapılmıştır. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

Sınır etkisi (taban, yan duvar) altında olmayan ağızlar için;

- Ağız şeklinin eksenel hız üzerindeki etkisi, ağızın merkezinden olan boyutsuz mesafe 1,5'den ($x/\sqrt{A} > 1,5$) büyükse kaybolur.
- $b/h=4$ (veya 0.25) olan dikdörtgen ağızlar için eksenel hız, akım alanındaki konuma bağlı olarak hem nümerik hem de teorik sonuçları dairesel ağızdan yaklaşık olarak % 20 daha küçük olabilir. Diğer ağız tipleri (kare, üçgen, eşkenar dörtgen) için eksenel hız değişimleri, dairesel ağıza benzerdir.
- Dairesel, kare, üçgen ve eşkenar dörtgen ağızlara yakın bölgede x-z ve x-y düzlemlerinde yarı-eliptik eş hız eğrileri elde edilir. Radyal mesafe artarsa, bu yarı-eliptik eş hız eğrileri dairesel hale gelir. Yarım-elipslerin uzun ve kısa eksenlerinin oranı sabit değildir ve boyutsuz hıza bağlıdır. Yüksek en-yükseklik oranına sahip dikdörtgen ağızlar ve üçgen ağızlar için, eş hız eğrilerinin şekli yarım-elips olmaktan çıkar.
- Düşey hızlar (V_z), $x/\sqrt{A} < 2,4$ 'den daha küçük mesafelerde gelişmeye başlar ve ağıza yakın noktalarda kanal eksenine doğrultusundaki hızlara büyüklük olarak yaklaşır.
- Potansiyel akım kabulü, ağızların membasındaki hız dağılımı için kabul edilebilir sonuçlar verir. Teorik ve sayısal sonuçlar arasındaki fark, ölü-son duvarına ve ağızın kendisine yakın bölgelerde artar.

Akım sınırı (taban, yan duvar) etkisi olan ağızlar için;

- Ağız merkezleri ve akım sınırları arasındaki mesafelere bağlı olarak, x-z ve x-y düzlemindeki boyutsuz hız değerleri, tüm ağız tipleri için özellikle sınırlardan uzak bölgelerde, sınır etkisi olmayan durumlara göre daha yüksektir.

- Sınır etkileri olan ve olmayan hız değerleri arasındaki fark, ağız merkezleri ile sınırlar arasındaki mesafeler arttıkça artar.
- V_T/V_0 arttıkça, sınır etkisi olan ve olmayan durumlar için hız değerleri birbirine yaklaşır.
- Kanal taban sınır etkisi, x-y düzlemindeki yarı-eliptik eş-hız eğrilerinin şeklini bozmaz. Benzer şekilde, yan duvar sınır etkisi, x-z düzlemindeki eş-hız eğrilerinin şeklini değiştirmez.

KAYNAKLAR

- Aköz, M.S., Kırkgöz, M.S. ve Öner, A.A. (2009). Experimental and numerical modeling of a sluice gate flow. *Journal of Hydraulic Research* 47(2),167-176.
- Anayiotos, A. S., Perry, G. J., Myers, J. G., Green, D. W., Fan, P. H. and Nanda, N. C. (1995). A numerical and experimental investigation of the flow acceleration region proximal to an orifice. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 21(4), 501–516.
- Belaud, G. and Litrico, X. (2008). Closed form solution of the potential flow in a contracted flume. *Journal of Fluid Mechanics*, 599, 299–307.
- Bryant, D.B., Khan, A.A. and Aziz, N.M. (2008). Investigation of flow upstream of orifices. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(1), 98-104.
- Chanson, H., Aoki, S-I. and Maruyama, M. (2002). Unsteady two dimensional orifice flow: a large-size experimental investigation. *Journal of Hydraulic Research*, 40(1), 63-71.
- Guyot, G., Maaloul, H. and Archer, A. (2012). A Vortex Modeling with 3D CFD. *Advances in Hydroinformatics, Springer Hydrogeology. Springer, Singapore*, 433-444.
- Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*, 39, 201.
- Islam, Md.R. and Zhu, D.Z. (2011). Flow upstream of two dimensional intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(1), 129-134.
- Khan, L.A., Wicklein, E.A., Rashid, M., Ebner, L.L. and Richards, N.A. (2004). Computational fluid dynamics modeling of turbine intake hydraulics at a power plant. *Journal of Hydraulic Research*, 42(1), 61-69.
- Lucino, C., Liscia, S. and Duro, G. (2010). Vortex detection in pump sumps by means of CFD. *XXIV Latin American Congress On Hydraulics Punta Del Este, Uruguay*.
- Montes, J.S. (1997). Irrotational flow and real fluid effects under planar sluice gates. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(3), 219-232.
- Munson, B.R., Young, D.F., Okiishi, T.H. and Huebsch, W.W. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. (Sixth Edition Book). Printed in the United States of America: 272,273,274,286.
- Nakayama, A. and Hisasue, N. (2010). Large eddy simulation of vortex flow in intake channel of hydropower facility. *Journal of Hydraulic Research* 48(4), 415-427.
- Powell, D.N. and Khan, A.A. (2015). Flow field upstream of an orifice under fixed bed and equilibrium scour conditions. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(2), 04014076.

- Powell, D.N. and Khan, A.A. (2011). Sediment transport mechanics upstream of an orifice. *Journal of Visualization*, 14(4), 315-320.
- Powell, D.N. and Khan, A.A. (2012). Scour upstream of a circular orifice under constant head, *Journal of Hydraulic Research*, 50(1), (28-34).
- Rabe, B.K., Najafabadi S.H.G. and Sarkardeh, H. (2017). Numerical simulation of air-core vortex at intake. *Current Science Association*, 113(1), 141-147.
- Sarkardeh, H., Jabbari, E., Zarrati, A.R. and Tavakkol, S. (2014). Velocity field in a reservoir in the presence of an air-core vortex. *Water Management*, 167(6), 356-364.
- Shammaa, Y., Zhu, D.Z. and Rajaratnam, N. (2005). Flow Upstream of Orifices and Sluice Gates. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(2), 127-133.
- Tataroğlu, R.M. (2014). Numerical investigation of vortex formation at intake structures using flow-3d software. *Journal of Hydraulic Research*, 31(4), 41-45.
- Tokay, T.E. and Constantinescu, G. (2006). Validation of a Large Eddy Simulation Model to Simulate Flow Pump Intakes of Realistic Geometry. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(12), 1303-1315.
- Yıldırım, N., Taştan, K. ve Arslan, M.M. (2009). Critical submergence for dual pipe intakes. *Journal of Hydraulic Research* 47(2), 242-249.
- Yıldırım, N. ve Taştan, K. (2009). Critical submergence for multiple pipe intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(12), 1052-1062.
- Yıldırım, N., Eyüpoğlu, A.S. ve Taştan, K. (2012). Critical submergence for dual rectangular intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(4), 237-245.
- Zarrati, A.R., Jin, Y-C, Shanehsaz-zadeh, A. and Ahadi, F. (2004). Potential flow solution for a free surface flow past a sudden slope change. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(4), 553-560.

EKLER

EK-1. Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için farklı ağız şekillerinin hız potansiyel fonksiyonları

Dairesel ağız kesiti

Sadece kanal yan duvarının engel etkisi– daireesel ağız

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - (-2W + r_0 \sin\theta_0))^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y - (-2W + r_0 \sin\theta_0)) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - (-2W + r_0 \sin\theta_0))^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z - r_0 \cos\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - (-2W + r_0 \sin\theta_0))^2 + (z - r_0 \cos\theta_0)^2]^{3/2}}$$

Sadece kanal tabanının engel etkisi – daireesel ağız

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{x r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(y - r_0 \sin\theta_0) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{d/2} \frac{(z - (-2C + r_0 \cos\theta_0)) r_0 d\theta_0 dr_0}{[x^2 + (y - r_0 \sin\theta_0)^2 + (z - (-2C + r_0 \cos\theta_0))^2]^{3/2}}$$

Dikdörtgensel ağız kesiti

Sadece kanal yan duvarının engel etkisi– dikdörtgensel ağız

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - (-2W + y_0))^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{(y - (-2W + y_0)) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - (-2W + y_0))^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{(z - z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y - (-2W + y_0))^2 + (z - z_0)^2]^{3/2}}$$

EK-1. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için farklı ağız şekillerinin hız potansiyel fonksiyonları

Sadece kanal tabanının engel etkisi– dikdörtgensel ağız

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-(-2C+z_0))^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{(y-y_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-(-2C+z_0))^2]^{3/2}}$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \int_{-h/2}^{h/2} \int_{-b/2}^{b/2} \frac{(z-(-2C+z_0)) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-y_0)^2 + (z-(-2C+z_0))^2]^{3/2}}$$

Üçgensel ağız kesiti

Sadece kanal yan duvarının engel etkisi– üçgensel ağız

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-(-2W+y_0))^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. \int_{-\frac{a}{2}}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{x dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-(-2W+y_0))^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \right]$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(y-(-2W+y_0)) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-(-2W+y_0))^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. \int_{-\frac{a}{2}}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(y-(-2W+y_0)) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-(-2W+y_0))^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \right]$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-(-2W+y_0))^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} + \right. \\ \left. \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(z-z_0) dz_0 dy_0}{[x^2 + (y-(-2W+y_0))^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} \right]$$

EK-1. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için farklı ağız şekillerinin hız potansiyel fonksiyonları

Sadece kanal tabanının engel etkisi – üçgensel ağız

$$\frac{V_{xi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{x \, dz_0 \, dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - (-2C + z_0))^2]^{\frac{3}{2}}} + \right.$$

$$\left. \int_{-\frac{a}{2}}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{x \, dz_0 \, dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - (-2C + z_0))^2]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$\frac{V_{yi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{\frac{a}{2}} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(y - y_0) \, dz_0 \, dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - (-2C + z_0))^2]^{\frac{3}{2}}} + \right.$$

$$\left. \int_{-\frac{a}{2}}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(y - y_0) \, dz_0 \, dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - (-2C + z_0))^2]^{\frac{3}{2}}} \right]$$

$$\frac{V_{zi}}{V_0} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_0^{a/2} \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} - y_0)} \frac{(z - (-2C + z_0)) \, dz_0 \, dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - (-2C + z_0))^2]^{3/2}} + \right.$$

$$\left. \int_{-a/2}^0 \int_0^{\tan 60(\frac{a}{2} + y_0)} \frac{(z - (-2C + z_0)) \, dz_0 \, dy_0}{[x^2 + (y - y_0)^2 + (z - (-2C + z_0))^2]^{3/2}} \right]$$

EK-2. Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Dairesel ağız kesiti

Engel etkisiz durum- daireesel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;

for x=0.0001:0.0075:0.2251
    for y=-0.255:0.0075:0.255
        for z=-0.255:0.0075:0.255;

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*x.*r./((x.^2+(y-r.*sin(theta)).^2+(z-r.*cos(theta)).^2).^(3./2));
            u=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*(y-r.*sin(theta)).*r./((x.^2+(y-r.*sin(theta)).^2+(z-r.*cos(theta)).^2).^(3./2));
            v=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*(z-r.*cos(theta)).*r./((x.^2+(y-r.*sin(theta)).^2+(z-r.*cos(theta)).^2).^(3./2));
            w=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            A(sayac,1)=x;
            A(sayac,2)=y;
            A(sayac,3)=z;
            A(sayac,4)=u;
            A(sayac,5)=v;
            A(sayac,6)=w;

            sayac=sayac+1;

        end
    end
end
```

EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Sadece kanal yan duvarının engel etkisi- dairesel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;

for x=0.0001:0.0075:0.2251
    for y=0
        for z=0;

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*x.*r./((x.^2+(y+0.0975-
r.*sin(theta)).^2+(z-r.*cos(theta)).^2).^3./2));
            u=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*(y+0.0975-
r.*sin(theta)).*r./((x.^2+(y+0.0975-r.*sin(theta)).^2+(z-
r.*cos(theta)).^2).^3./2));
            v=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*(z-
r.*cos(theta)).*r./((x.^2+(y+0.0975-r.*sin(theta)).^2+(z-
r.*cos(theta)).^2).^3./2));
            w=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            A(sayac,1)=x;
            A(sayac,2)=y;
            A(sayac,3)=z;
            A(sayac,4)=u;
            A(sayac,5)=v;
            A(sayac,6)=w;

            sayac=sayac+1;

        end
    end
end
```


EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Sadece kanal tabanının engel etkisi- dairesel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;

for x=0.0001:0.0075:0.2251
    for y=0
        for z=0;

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*x.*r./((x.^2+(y-
r.*sin(theta)).^2+(z+0.0975-r.*cos(theta)).^2).^(3./2));
            u=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*(y-
r.*sin(theta)).*r./((x.^2+(y-r.*sin(theta)).^2+(z+0.0975-
r.*cos(theta)).^2).^(3./2));
            v=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            fun=@(r,theta) (1./(2.*pi)).*(z+0.0975-
r.*cos(theta)).*r./((x.^2+(y-r.*sin(theta)).^2+(z+0.0975-
r.*cos(theta)).^2).^(3./2));
            w=dblquad(fun,0,0.0266,0,2*pi);

            A(sayac,1)=x;
            A(sayac,2)=y;
            A(sayac,3)=z;
            A(sayac,4)=u;
            A(sayac,5)=v;
            A(sayac,6)=w;

            sayac=sayac+1;

        end
    end
end
```

EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Dikdörtgensel ağız kesiti

Engel etkisiz durum –dikdörtgensel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;

    for x=0:0.0075:0.21
        for y=-0.24:0.0075:0.24
            for z=-0.30:0.0075:0.60;

fun=@(b,h) (1./(2.*pi)).*x./((x.^2+(y-b).^2+(z-h).^2).^(3./2));
u=dblquad(fun,-0.033338,0.033338,-0.016669,0.016669);

fun=@(b,h) (1./(2.*pi)).*(y-b)./((x.^2+(y-b).^2+(z-h).^2).^(3./2));
v=dblquad(fun,-0.033338,0.033338,-0.016669,0.016669);

fun=@(b,h) (1./(2.*pi)).*(z-h)./((x.^2+(y-b).^2+(z-h).^2).^(3./2));
w=dblquad(fun,-0.033338,0.033338,-0.016669,0.016669);

                A(sayac,1)=x;
                A(sayac,2)=y;
                A(sayac,3)=z;
                A(sayac,4)=u;
                A(sayac,5)=v;
                A(sayac,6)=w;

                sayac=sayac+1;

            end
        end
    end
```

EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Sadece kanal yan duvarının engel etkisi–dikdörtgensel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;

    for x=0:0.0075:0.21
        for y=-0.04875:0.0075:0.45375
            for z=-0.30:0.0075:0.60;

                fun=@(h,b) (1./(2.*pi)).*x./((x.^2+(y+0.0975-b).^2+(z-
h).^2).^(3./2));
                u=dblquad(fun,-0.016669,0.016669,-0.033338,0.033338);

                fun=@(h,b) (1./(2.*pi)).*(y+0.0975-b)./((x.^2+(y+0.0975-
b).^2+(z-h).^2).^(3./2));
                v=dblquad(fun,-0.016669,0.016669,-0.033338,0.033338);

                fun=@(h,b) (1./(2.*pi)).*(z-h)./((x.^2+(y+0.0975-
b).^2+(z-h).^2).^(3./2));
                w=dblquad(fun,-0.016669,0.016669,-0.033338,0.033338);

                A(sayac,1)=x;
                A(sayac,2)=y;
                A(sayac,3)=z;
                A(sayac,4)=u;
                A(sayac,5)=v;
                A(sayac,6)=w;

                sayac=sayac+1;

            end
        end
    end
```

EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Sadece kanal tabanının engel etkisi–dikdörtgensel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;

    for x=0:0.0075:0.21
        for y=-0.24:0.0075:0.24
            for z=-0.04875:0.0075:0.85125;

                fun=@(h,b) (1./(2.*pi)).*x./((x.^2+(y-b).^2+(z+0.0975-h).^2).^(3./2));
                u=dblquad(fun,-0.016669,0.016669,-0.033338,0.033338);

                fun=@(h,b) (1./(2.*pi)).*(y-b)./((x.^2+(y-b).^2+(z+0.0975-h).^2).^(3./2));
                v=dblquad(fun,-0.016669,0.016669,-0.033338,0.033338);

                fun=@(h,b) (1./(2.*pi)).*(z+0.0975-h)./((x.^2+(y-b).^2+(z+0.0975-h).^2).^(3./2));
                w=dblquad(fun,-0.016669,0.016669,-0.033338,0.033338);

                A(sayac,1)=x;
                A(sayac,2)=y;
                A(sayac,3)=z;
                A(sayac,4)=u;
                A(sayac,5)=v;
                A(sayac,6)=w;

                sayac=sayac+1;

            end
        end
    end
```

EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Üçgensel ağız kesiti

Engel etkisiz durum-üçgensel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;
for x=0.0001:0.0075:0.2251
for y=0
for z=0.020683;

fun1x=@(b) (x.*((1.732050808.*(0.035824-b)) - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((1.732050808.*(0.035824-b)) - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2))- (x.*(0 - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((0 - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2));
f1x=quad(fun1x,0,0.035824)

fun2x=@(b) (x.*((1.732050808.*(0.035824+b)) - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((1.732050808.*(0.035824+b)) - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2))- (x.*(0 - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((0 - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2));
f2x=quad(fun2x,-0.035824,0)

fun1y=@(b)-((b - y).*((1.732050808.*(0.035824-b)) - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((1.732050808.*(0.035824-b)) - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2))+((b - y).*(0 - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((0 - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2));
f1y=quad(fun1y,0,0.035824)

fun2y=@(b)-((b - y).*((1.732050808.*(0.035824+b)) - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((1.732050808.*(0.035824+b)) - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2))+((b - y).*(0 - z))./((x.^2 + (b - y).^2).*((0 - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2));
f2y=quad(fun2y,-0.035824,0)

fun1z=@(b)1./(((1.732050808.*(0.035824-b)) - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)- 1./((0 - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2));
f1z=quad(fun1z,0,0.035824)

fun2z=@(b)1./(((1.732050808.*(0.035824+b)) - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)- 1./((0 - z).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2));
f2z=quad(fun2z,-0.035824,0)

A(sayac,1)=x;
A(sayac,2)=y;
A(sayac,3)=z;
A(sayac,4)=f1x;
A(sayac,5)=f2x;
A(sayac,6)=f1y;
A(sayac,7)=f2y;
A(sayac,8)=f1z;
A(sayac,9)=f2z;

sayac=sayac+1;
end
end
end
```

EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Sadece kanal yan duvarının engel etkisi–üçgensel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;
for x=0.0001:0.0075:0.2251
for y=0
for z=0.020683;

fun1x=@(b) (x.*(1.732050808.*(0.035824-b) - z))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(1.732050808.*(0.035824-b) - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2))- (x.*(0 - z))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(0 - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2));
f1x=quad(fun1x,0,0.035824)

fun2x=@(b) (x.*(1.732050808.*(0.035824+b) - z))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(1.732050808.*(0.035824+b) - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2))- (x.*(0 - z))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(0 - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2));
f2x=quad(fun2x,-0.035824,0)

fun1y=@(b) ((1.732050808.*(0.035824-b) - z).*(y - b + 39./400))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(1.732050808.*(0.035824-b) - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2))- ((0 - z).*(y - b + 39./400))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(0 - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2));
f1y=quad(fun1y,0,0.035824)

fun2y=@(b) ((1.732050808.*(0.035824+b) - z).*(y - b + 39./400))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(1.732050808.*(0.035824+b) - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2))- ((0 - z).*(y - b + 39./400))./((x.^2 + (y - b + 39./400).^2).*(0 - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2));
f2y=quad(fun2y,-0.035824,0)

fun1z=@(b) 1./((1.732050808.*(0.035824-b) - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2))- 1./((0 - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2);
f1z=quad(fun1z,0,0.035824)

fun2z=@(b) 1./((1.732050808.*(0.035824+b) - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2))- 1./((0 - z).^2 + x.^2 + (y - b + 39./400).^2).^(1./2);
f2z=quad(fun2z,-0.035824,0)

A(sayac,1)=x;
A(sayac,2)=y;
A(sayac,3)=z;
A(sayac,4)=f1x;
A(sayac,5)=f2x;
A(sayac,6)=f1y;
A(sayac,7)=f2y;
A(sayac,8)=f1z;
A(sayac,9)=f2z;

sayac=sayac+1;

end
end
end
```

EK-2. (devam) Farklı ağız şekillerinin potansiyel akım çözümlerine ait hız bileşenleri için MATLAB programında yazılan kodlar

Sadece kanal tabanının engel etkisi-üçgensel ağız

```
clc;
clear;
sayac=1;
for x=0.0001:0.0075:0.2251
for y=0
for z=0.020683;

fun1x=@(b) -(x.*(z - 1.732050808.*(0.035824-b) + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 1.732050808.*(0.035824-b) + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) + (x.*(z - 0 + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 0 + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) ;
f1x=quad(fun1x,0,0.035824)

fun2x=@(b) -(x.*(z - 1.732050808.*(0.035824+b) + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 1.732050808.*(0.035824+b) + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) + (x.*(z - 0 + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 0 + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) ;
f2x=quad(fun2x,-0.035824,0)

fun1y=@(b) ((b - y).*(z - 1.732050808.*(0.035824-b) + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 1.732050808.*(0.035824-b) + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2))- ((b - y).*(z - 0 + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 0 + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) ;
f1y=quad(fun1y,0,0.035824)

fun2y=@(b) ((b - y).*(z - 1.732050808.*(0.035824+b) + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 1.732050808.*(0.035824+b) + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2))- ((b - y).*(z - 0 + 39./400))./((x.^2 + (b - y).^2).*(z - 0 + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) ;
f2y=quad(fun2y,-0.035824,0)

fun1z=@(b) 1./((z - 1.732050808.*(0.035824-b) + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)- 1./((z - 0 + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) ;
f1z=quad(fun1z,0,0.035824)

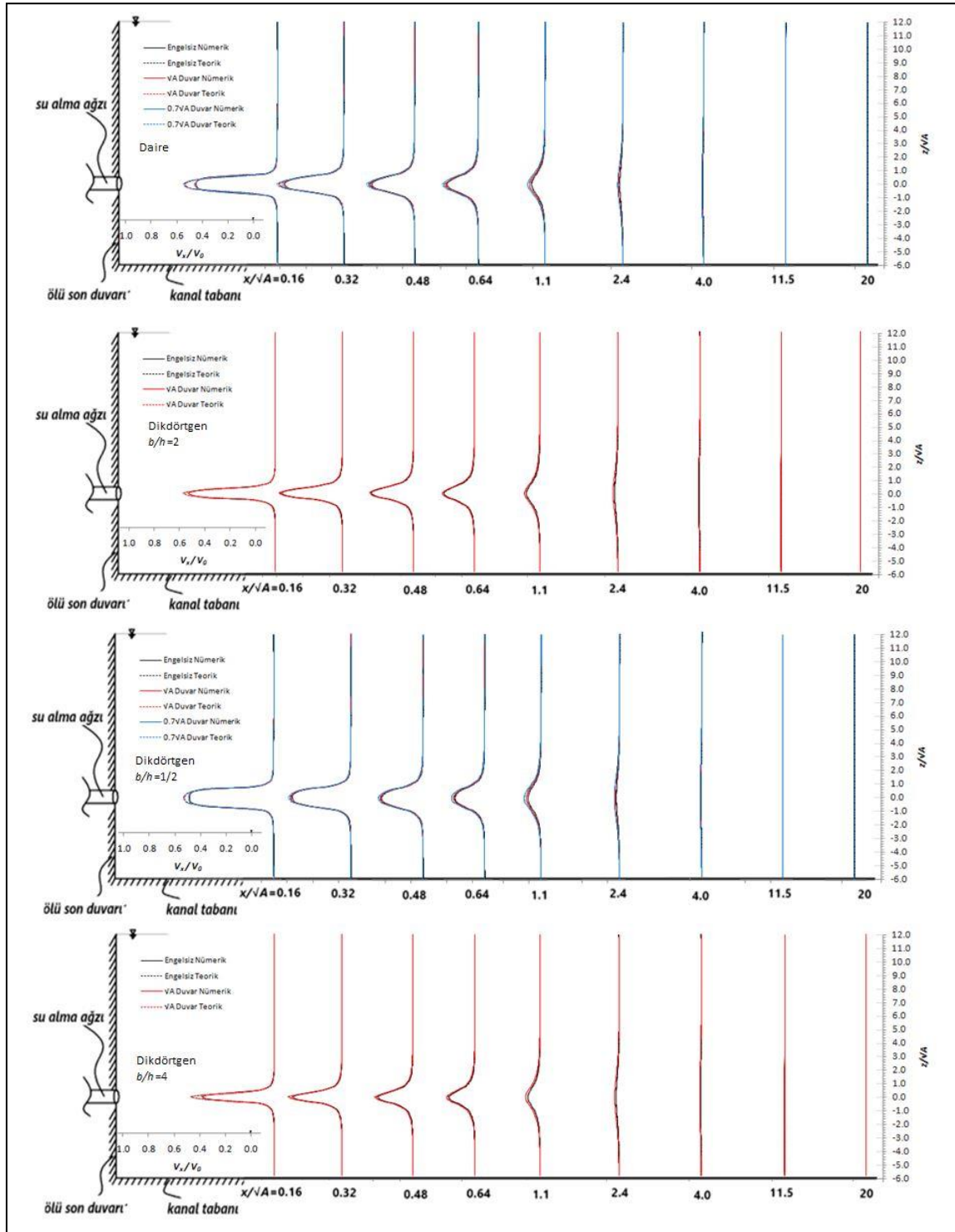
fun2z=@(b) 1./((z - 1.732050808.*(0.035824+b) + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)- 1./((z - 0 + 39./400).^2 + x.^2 + (b - y).^2).^(1./2)) ;
f2z=quad(fun2z,-0.035824,0)

A(sayac,1)=x;
A(sayac,2)=y;
A(sayac,3)=z;
A(sayac,4)=f1x;
A(sayac,5)=f2x;
A(sayac,6)=f1y;
A(sayac,7)=f2y;
A(sayac,8)=f1z;
A(sayac,9)=f2z;

sayac=sayac+1;

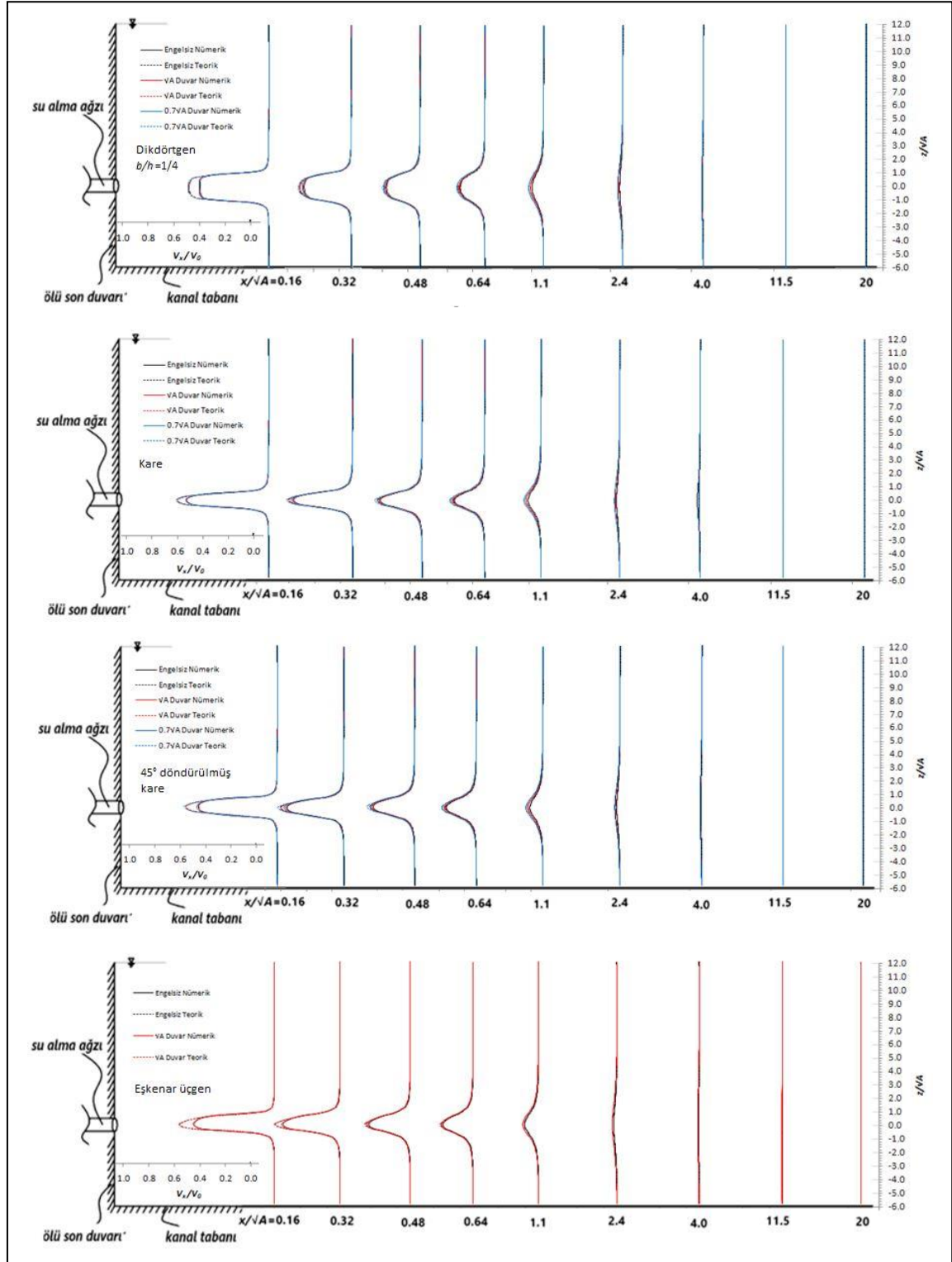
end
end
end
```

EK-3. Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



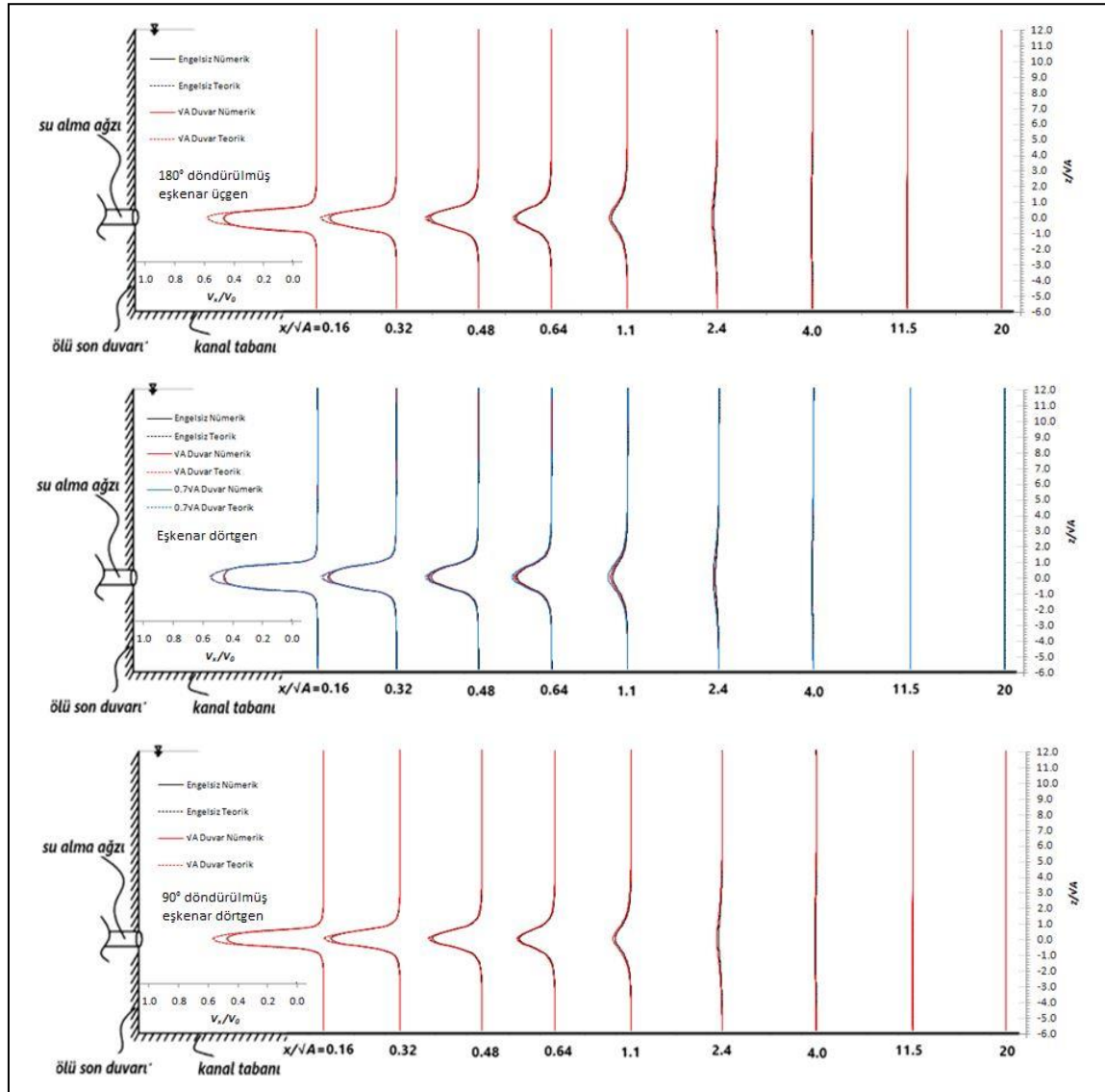
Şekil 3.1. Sadece kanal yan duvarının engel etkisi durumunda x-z düzleminde yatay hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



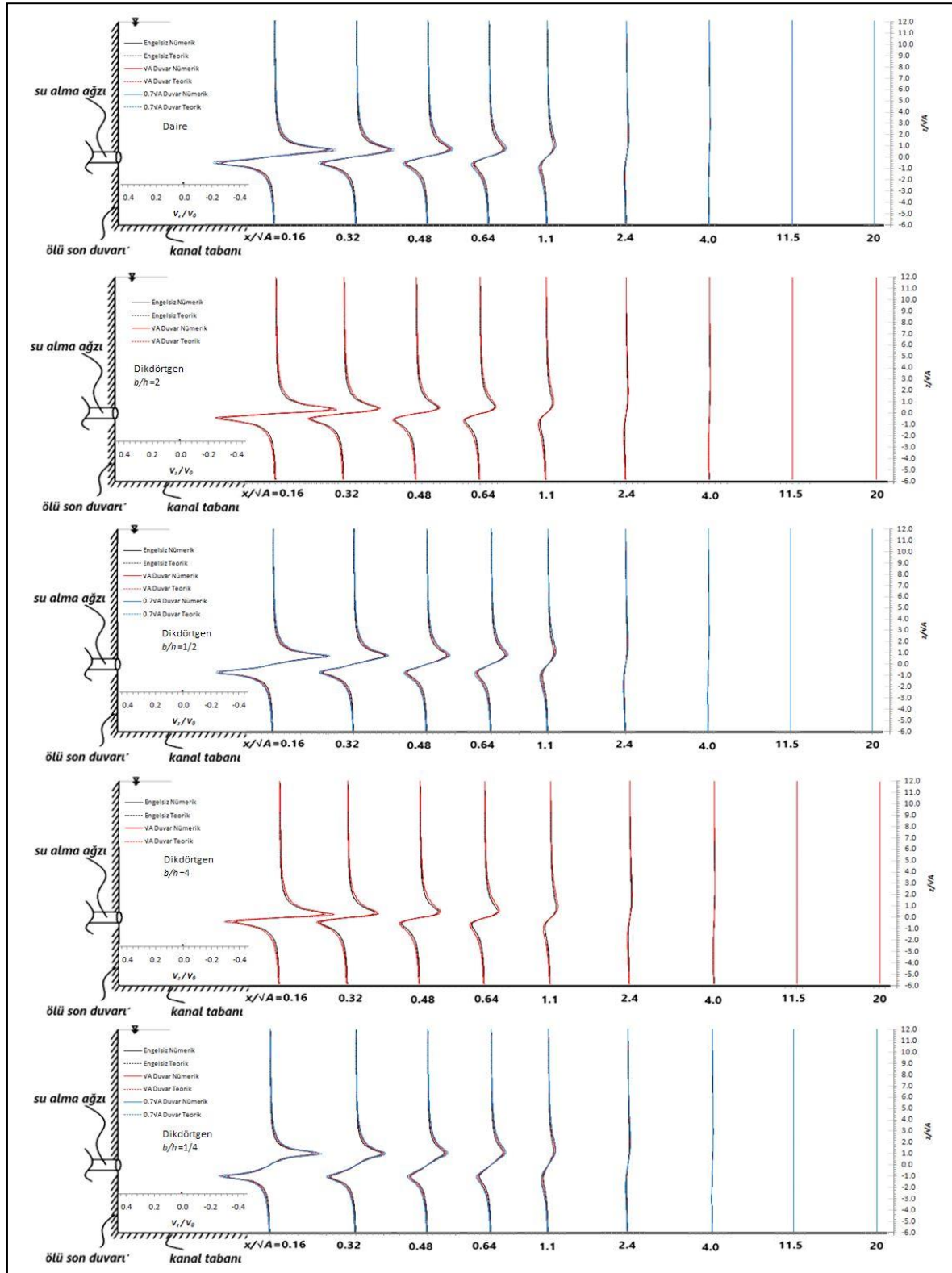
Şekil 3.1. (devam) Sadece kanal yan duvarının engel etkisi durumunda x - z düzleminde yatay hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



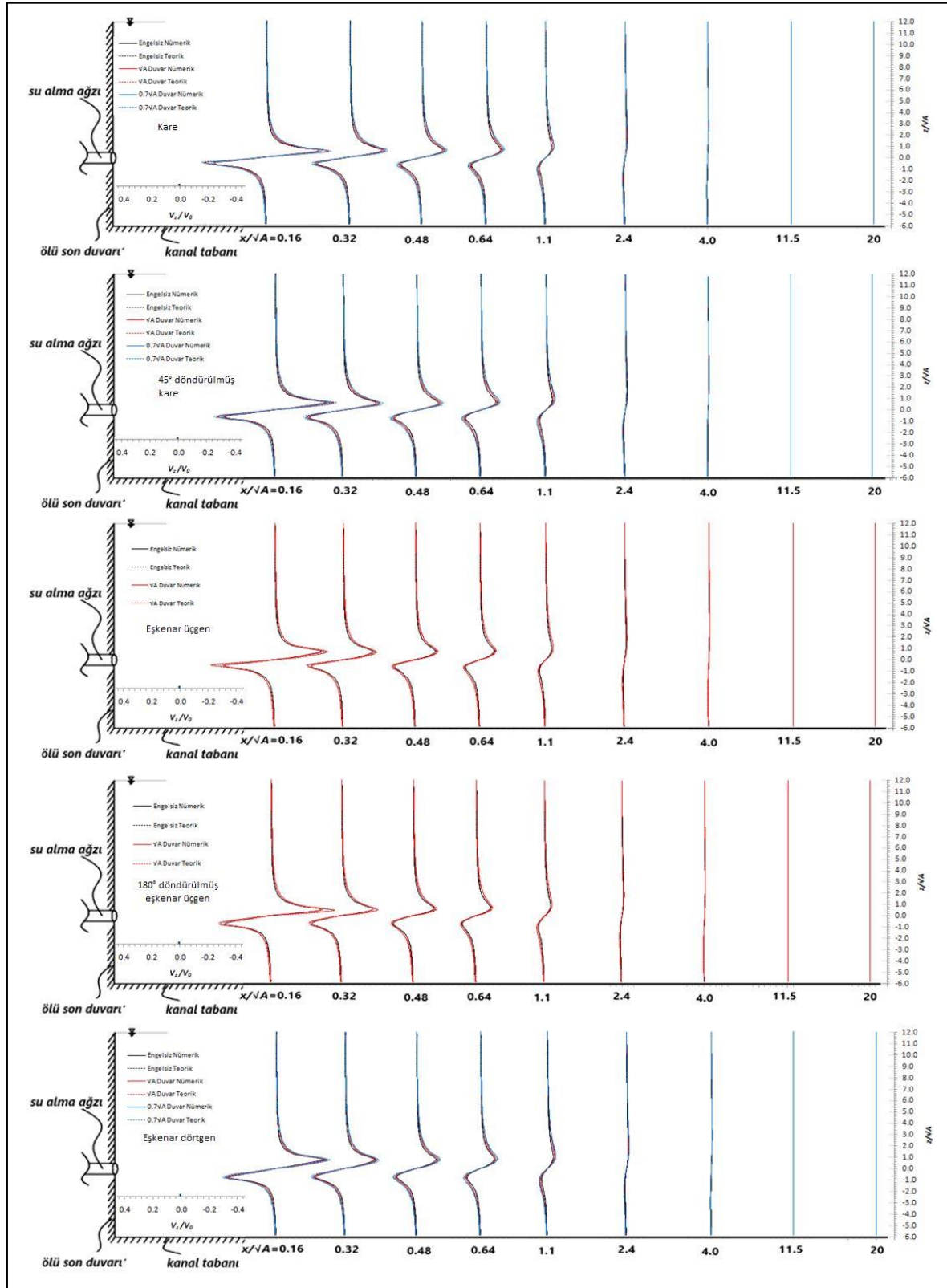
Şekil 3.1. (devam) Sadece kanal yan duvarının engel etkisi durumunda x-z düzleminde yatay hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



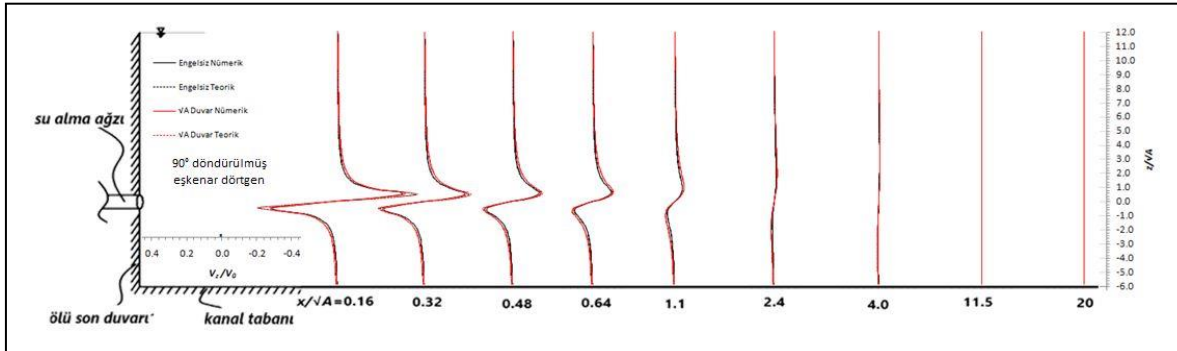
Şekil 3.2. Sadece kanal yan duvarının engel etkisi durumunda x-z düzleminde düşey hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları

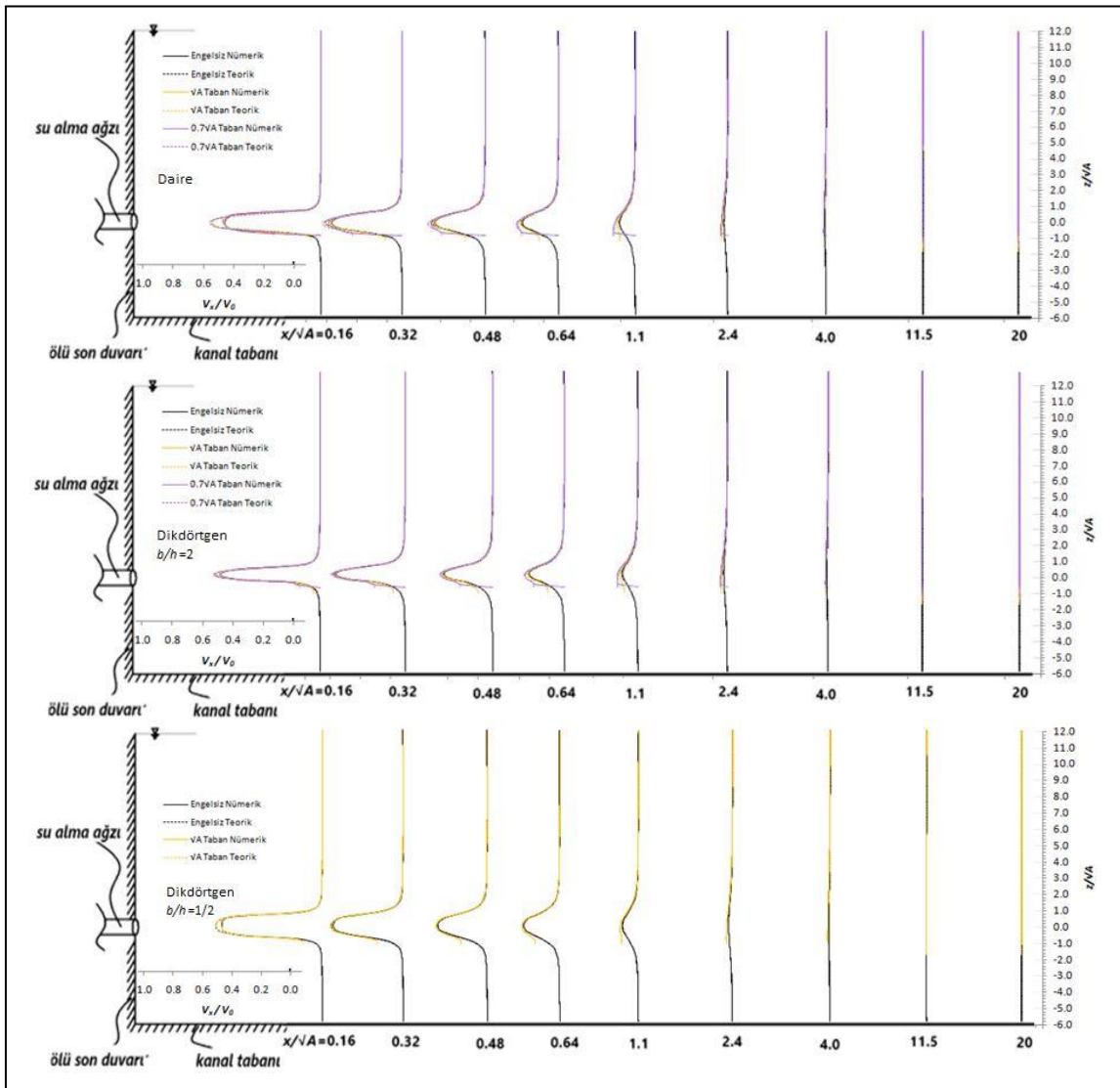


Şekil 3.2. (devam) Sadece kanal yan duvarının engel etkisi durumunda x-z düzleminde düşey hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları

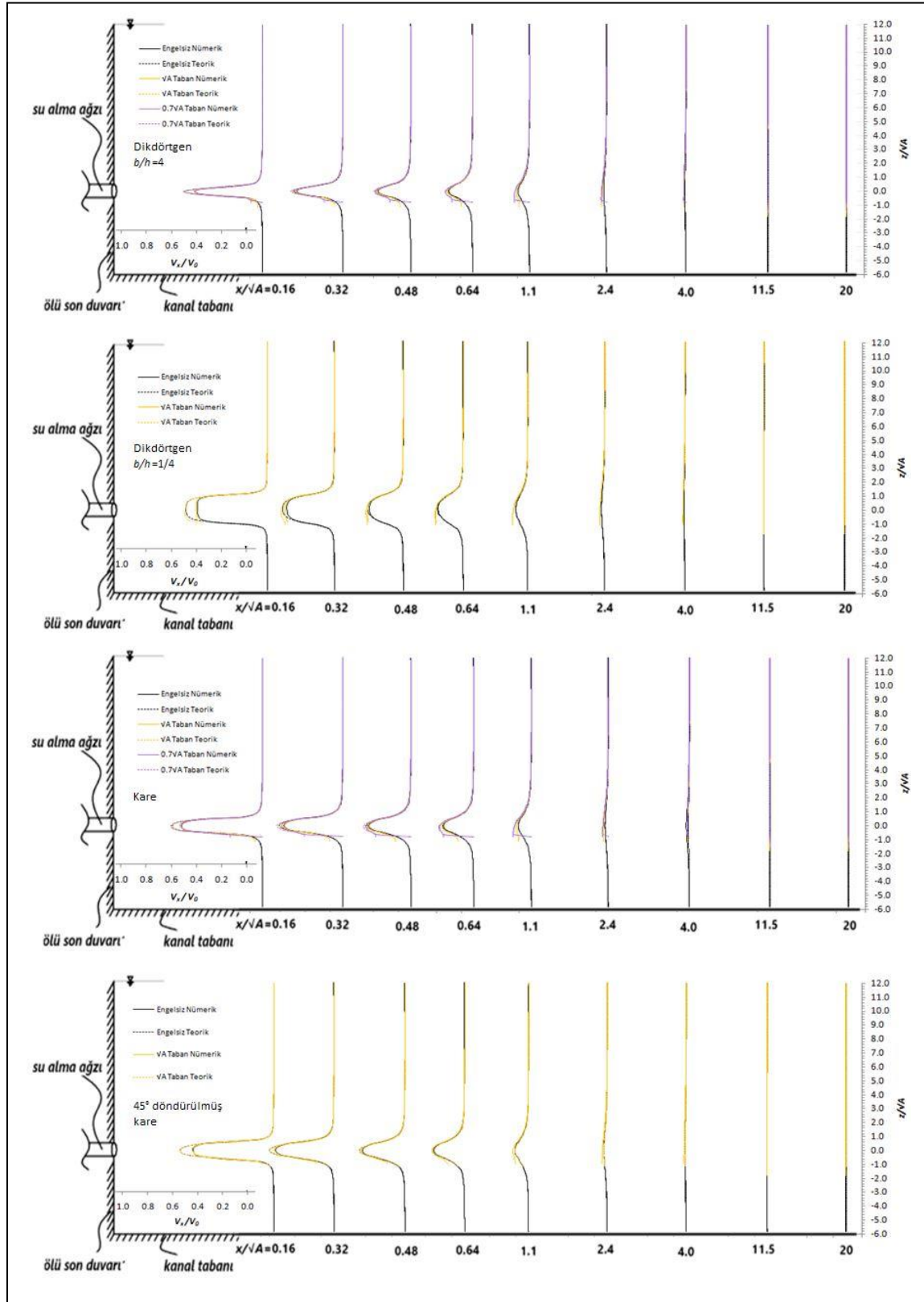


Şekil 3.2. (devam) Sadece kanal yan duvarının engel etkisi durumunda x-z düzleminde düşey hız dağılımları



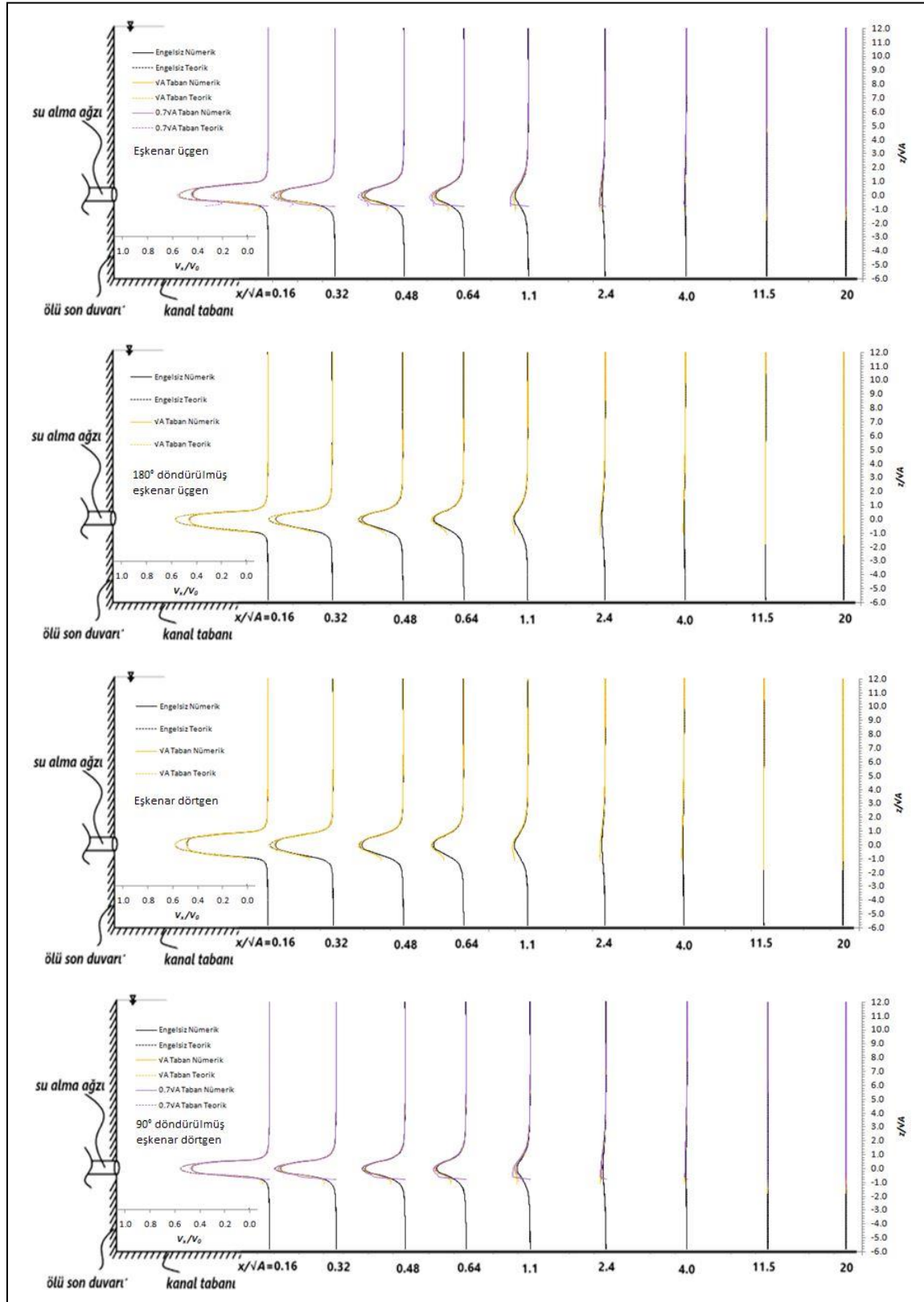
Şekil 3.3. Sadece kanal tabanının engel etkisi durumunda x-z düzleminde yatay hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



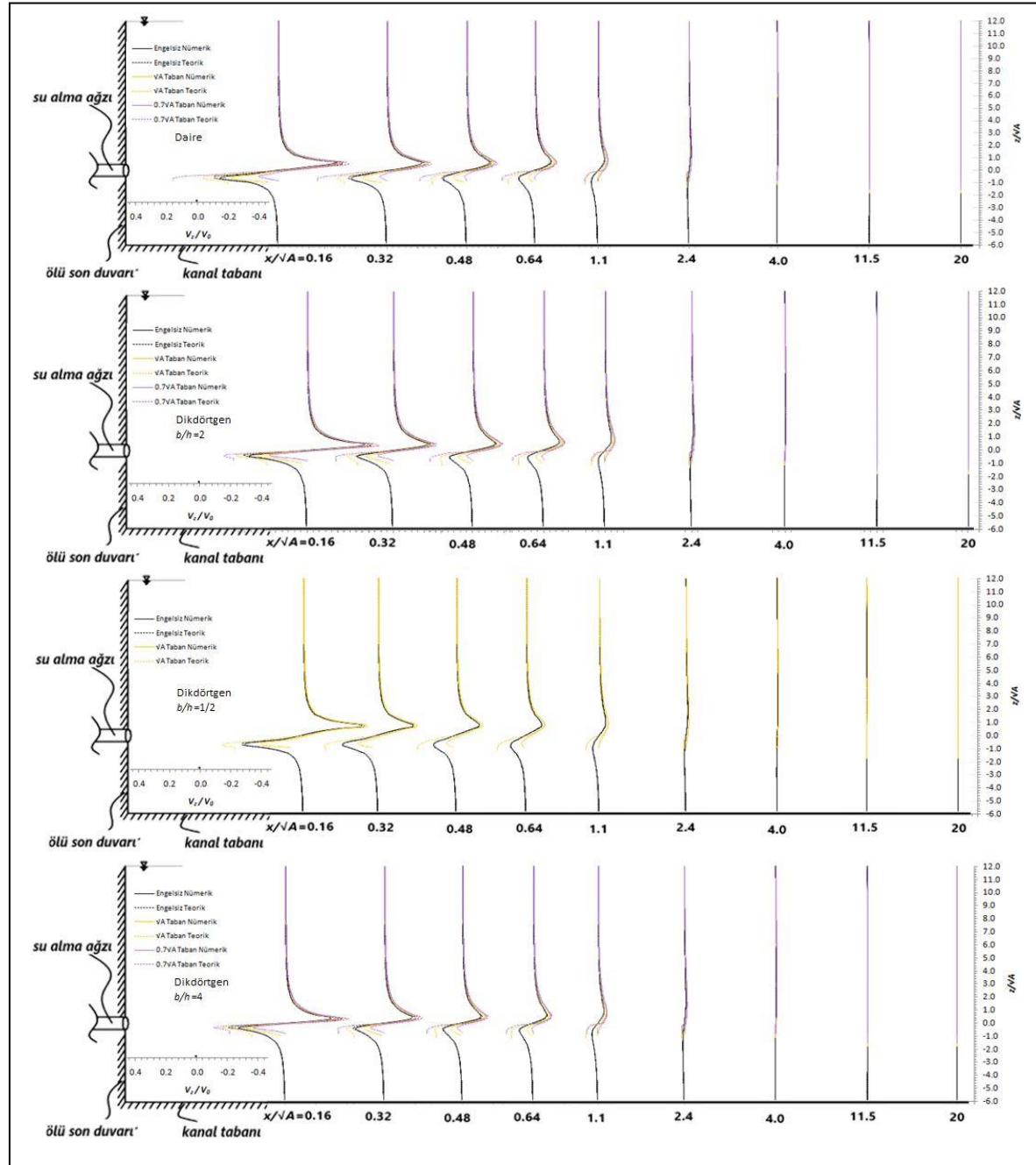
Şekil 3.3. (devam) Sadece kanal tabanının engel etkisi durumunda x-z düzleminde yatay hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



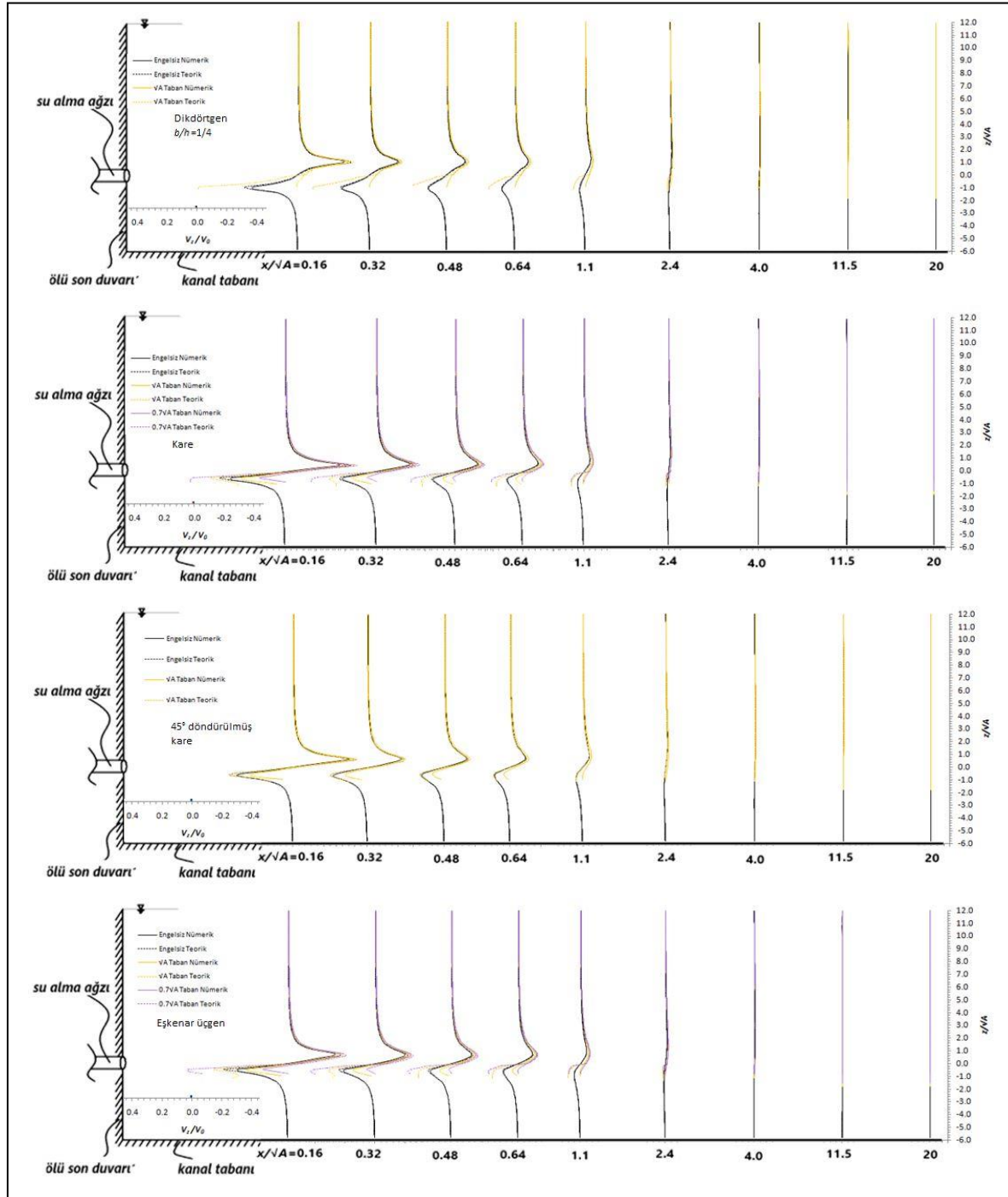
Şekil 3.3. (devam) Sadece kanal tabanının engel etkisi durumunda x-z düzleminde yatay hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



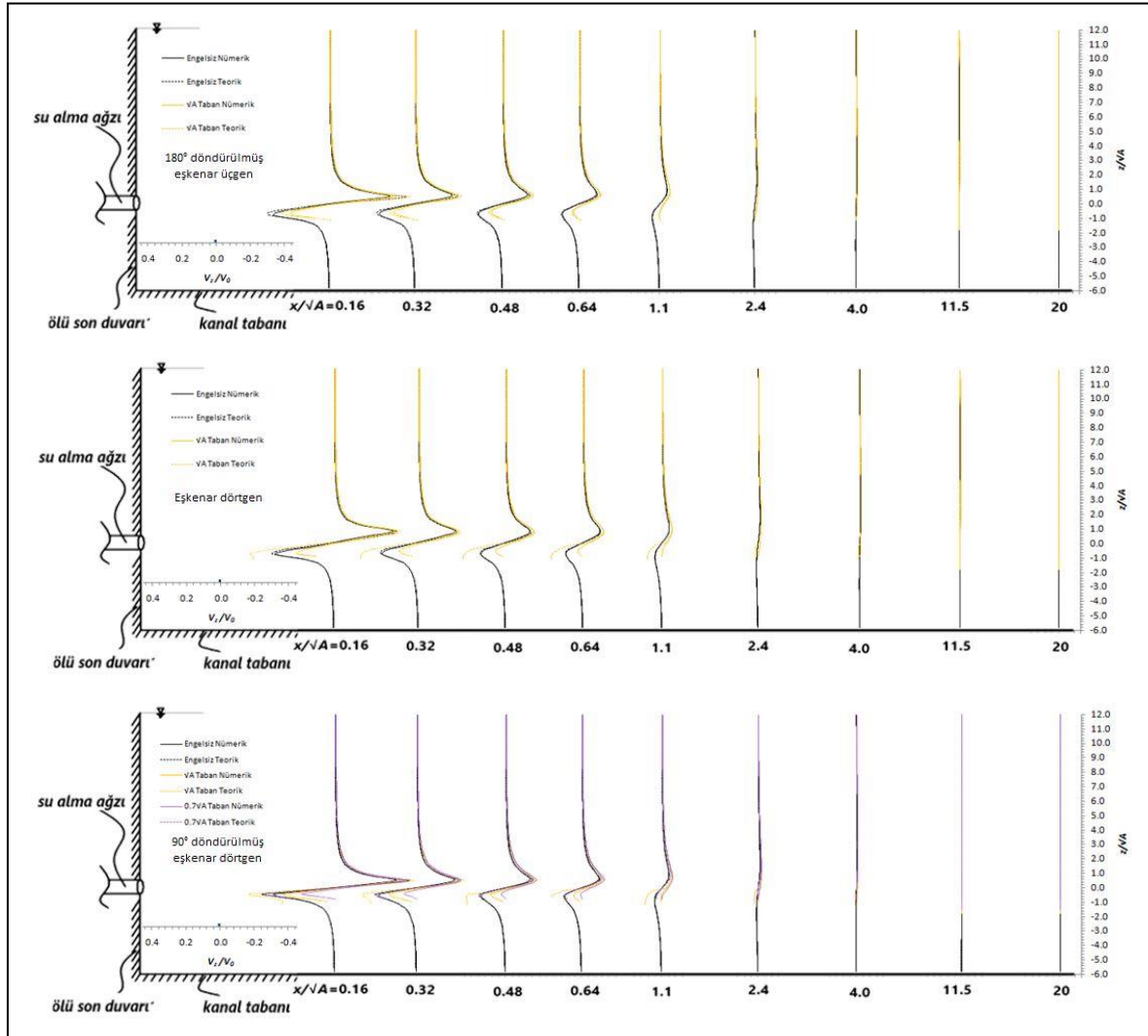
Şekil 3.4. Sadece kanal tabanının engel etkisi durumunda x-z düzleminde düşey hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



Şekil 3.4. (devam) Sadece kanal tabanının engel etkisi durumunda x-z düzleminde düşey hız dağılımları

EK-3. (devam) Yan duvar ve kanal tabanı engel etkisi için tüm ağızlara ait yatay ve düşey hız dağılımları



Şekil 3.4. (devam) Sadece kanal tabanının engel etkisi durumunda x-z düzleminde düşey hız dağılımları



GAZİ GELECEKTİR..